

UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
fundada en 1867

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

“Implementación del Modelo Hidráulico HEC GeoRAS
en la Modelación Hidráulica del Sistema para el
Control de Inundaciones de los ríos Cañar y Bulubulu”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

JHONNY RICHARD ENCALADA GUACHÚN

RODOLFO DANIEL JARA JARA

CUENCA - ECUADOR

AÑO - 2010

RESUMEN

El presente estudio se realizó en vista de la necesidad de conocer el comportamiento hidráulico de los ríos de la costa vinculados al Proyecto Bulubulu-Cañar, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS), conjuntamente con el Hydrologic Engineering Center - River Analyst System (HEC-RAS). Básicamente es la incorporación del módulo GEO al HEC RAS para uso de información georeferenciada a partir de la cartografía existente de la zona e interacción de todo el software. Esta herramienta conocida como HEC-GeoRAS facilita y complementa el trabajo con el HEC – RAS, ya que crea un archivo para importar datos geométricos del terreno, incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc. a dicho software. Posteriormente los resultados de calados y velocidades se exportan desde HEC-RAS a ArcGIS para ser procesados y obtener mapas de inundación y zonificación de riesgo

AGRADECIMIENTO

A DIOS y a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, especialmente al Dr. Felipe Cisneros, Director de Tesis, y de igual manera al Ing. Cristian Coello, Tutor de Tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A nuestros padres, y familia que siempre nos brindaron su apoyo incondicional.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1. INTRODUCCION	10
1.2 OBJETIVOS.....	10
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3 ALCANCE.....	10
1.4 JUSTIFICACION.....	11
1.5 AUSPICIO.....	11
1.6 DESCRIPCION Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	11
1.6.1 Área de Estudio	11
1.6.2 Materiales y Métodos.....	12
CAPITULO 2. MARCO TEORICO	13
2.1 GENERALIDADES	13
2.1.1 CONCEPTOS DE FLUJO DE FLUIDOS EN CANALES ABIERTOS. 13	
2.1.1.1 Definición	13
2.1.1.2 El Número de Reynolds y el carácter del flujo.....	13
2.1.1.3 Tipos de flujo en canales abiertos.....	13
2.1.1.4 Elementos geométricos de una sección de un canal	15
2.1.1.5 Ecuación de la energía	16
2.1.1.6 Principios de energía aplicados al flujo en canales.....	17
2.1.1.7 El flujo gradualmente variado.....	20
2.1.1.8 Cálculo del perfil de flujo	29
2.1.2 INTRODUCCION A LA INGENIERIA DE RIOS.....	31
2.1.2.1 Definiciones.....	31
2.1.2.2 Hidrología Fluvial	32
2.1.2.3 Morfología Fluvial.....	34
2.1.2.4 Geometría Hidráulica de un Río.....	38
2.1.2.5 Caudal Dominante.	39
2.1.2.6 Papel Morfológico de la Vegetación.....	40

2.1.2.7	Torrentes, Ramblas (Arroyos) y Ríos.....	40
2.1.2.8	Morfología de las Llanuras de Inundación	42
2.1.2.9	Morfología de la Desembocadura.	42
2.2	HIDRAULICA DE RIOS	43
2.2.1	PARAMETROS Y TIPO DE FLUJO.....	43
2.2.1.1	Granulometría.	43
2.2.1.2	Tamaño de las partículas.	43
2.2.1.3	Umbral o principio del movimiento.	45
2.2.1.4	Acorazamiento (Estratificación).....	45
2.2.1.5	Clasificación del transporte de sedimentos.	46
2.2.1.6	Caudal sólido.	47
2.2.1.7	Formas de Fondo.....	48
2.2.1.8	Transito de avenidas. (Proceso de propagación).....	50
2.2.1.9	Conceptos sobre erosión	51
2.2.1.10	Rugosidad del cauce (coeficiente de Manning).....	52
2.3	DESCRIPCION GENERAL DEL MODELO HEC GEO RAS	60
2.3.1	VENTAJAS Y LIMITACIONES.....	60
2.3.2	INFORMACION BASE.....	60
2.4	CARACTERIZACION DE LAS CUENCAS DE ESTUDIO.....	62
2.4.1	CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS Y CLIMATICAS GENERALES 62	
2.4.2	CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS.....	63
2.4.3	USOS DEL SUELO	65
2.5	COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS RIOS.....	66
2.5.1	Perfiles de velocidades en corrientes aluviales	66
2.6	IMPORTANCIA DEL MANEJO DEL HEC GeoRAS.	67
CAPITULO 3. METODOLOGIA DE TRABAJO		68
3.1	GENERALIDADES	68
3.2	RECOPIACION DE INFORMACION EXISTENTE.	69
3.3	PROCESAMIENTO DE DATOS	69
3.4	MODELACION HEC-GEO-RAS	69
3.5	CALIBRACION DEL MODELO.	86

3.5.1	MÉTODOS DE CÁLCULO.....	86
3.5.1.1	Análisis de Flujo Estacionario.	87
3.5.1.2	Datos de flujo Estacionario.....	87
3.5.1.3	Condiciones de Frontera.	88
3.6	INTERPRETACION Y PRESENTACION DE RESULTADOS	89
CAPITULO 4.	DESARROLLO DEL MODELO HEC GEO RAS	89
4.1	IMPORTANCIA DEL USO DEL MODELO HEC GEO RAS	89
4.2	DEFINICIÓN DE FRONTERAS ESPACIALES Y TEMPORALES	89
4.3	DESARROLLO DEL MODELO	90
4.4	UNIDADES	102
4.5	ESQUEMA	102
4.6	CALIBRACIÓN DEL MODELO	103
4.6.1	CAUDALES A SIMULAR	103
4.6.2	CONDICIONES DE FRONTERA.....	106
4.7	OBTENCION DE PARAMETROS HIDRAULICOS DE DISEÑO	106
4.7.1	Secciones transversales	106
4.7.2	Caudales medios en el campo.....	106
4.7.3	Rugosidades de los Canales (n de Manning)	107
4.7.4	Coeficientes de contracción y expansión.....	109
4.8	DETERMINACION DE ZONAS DE RIESGO DE INUNDACION	109
CAPITULO 5.	ANÁLISIS & INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	110
5.1	RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LOS RÍOS.....	110
5.1.1	Descripción de la Nomenclatura del HEC-RAS	110
5.1.2	Descripción de los Resultados.....	111
5.1.2.1	RIO PATUL	112
5.1.2.2	RIO PIEDRAS	119
5.1.2.3	RIO CAÑAR	124
5.1.2.4	RIO BULUBULU.....	136
5.2	ANÁLISIS DE INUNDACIONES, ZONIFICACIÓN DE RIESGOS	141
CAPITULO 6.	CONCLUSIONES	143
CAPITULO 7.	RECOMENDACIONES	144
CAPITULO 8.	ANEXOS, MAPAS Y PLANOS.....	145

8.1 RIO PATUL	147
8.2 RIO PIEDRAS	149
8.3 RIO CAÑAR	150
8.4 RIO BULUBULU	156
8.5 RIO PATUL	160
8.6 RIO PIEDRAS	161
8.7 RIO CAÑAR	162
8.8 RIO BULUBULU	163

SIMBOLOGÍA

τ_o	Tensión de Corte originada por el flujo
ρ	Densidad del Agua
g	Aceleración de la gravedad
R	Radio Hidráulico
A	Área de la sección mojada
P	perímetro mojado
Fr	Número de Froude
n	Rugosidad de Manning
n_b	Rugosidad Base
n_1	Factor de irregularidad
n_2	Factor de variación del canal
n_3	Factor de obstrucción
n_4	Factor de vegetación
m	Grado de Factor Meándrico
Q	Caudal
y_c	Altura crítica
Y_n	Altura Normal
D	Profundidad Hidráulica
S_c	Pendiente Crítica
S_f	Pendiente de la línea de Energía
S_o	Pendiente del Canal
d_{50}	Tamaño medio del grano en mm
t_c	Tiempo de Concentración
t_p	Duración de la Precipitación
λ	Longitud de onda,
B	Anchura del cauce en la superficie libre
S	Longitud de la curva
a	Amplitud
	Pendiente aguas arriba de la sección de control
S_1	
	Pendiente aguas abajo de la sección de control
S_2	
μ	micra
Q_s	Caudal Sólido
V_m	Velocidad media de la sección hidráulica
h (height)	altura
m	metro
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
m^3/s	Metro cúbico por segundo
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetros
Km^2	Kilómetros cuadrado
Ha	Hectárea

1.1 IMPLEMENTACION DEL MODELO HIDRÁULICO HEC GEORAS EN LA MODELACION HIDRAULICA DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES DE LOS RIOS CAÑAR Y BULUBULU.

CAPITULO 1. INTRODUCCION

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementación del modelo Hidráulico HEC GEO RAS para el estudio del comportamiento del flujo en los ríos de la costa vinculados al Proyecto Bulubulu-Cañar.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Uso del modelo HEC RAS para análisis hidráulico del comportamiento de ríos (esto incluye manejo del programa, calibración y obtención final de parámetros hidráulicos junto con las zonas de inundación para caudales de diferente periodo de retorno, esto aplicado a la cuenca de los ríos Bulubulu, Cañar y sus afluentes.

Incorporación del módulo GEO al HEC RAS para uso de información georeferenciada a partir de la cartografía existente de la zona e interacción de todo el software.

Aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) y su interacción con el modelo HEC RAS

1.3 ALCANCE

El desarrollo del tema de investigación permitirá obtener un modelo hidráulico calibrado para el sistema de control de inundaciones de los ríos Cañar y Bulubulu mediante el uso del programa HEC-GeoRAS con la incorporación de Sistemas de Información Geográfica, basado en los datos levantados de campo como: topografía y secciones transversales a lo largo del río, propiedades granulométricas del lecho, aforos realizados en puntos de calibración y la cartografía existente de la zona. Con esto se logrará obtener parámetros hidráulicos e identificar zonas de inundación para caudales estimados de diferente periodo de retorno.

1.4 JUSTIFICACION

Las localidades de la Troncal, El Triunfo y Naranjal conocidas principalmente por su actividad agroindustrial se asientan sobre la cuenca baja de los Ríos Bulubulu y Cañar. Esta situación geográfica resulta desfavorable ante los efectos adversos del clima de la zona y hace que se encuentren amenazadas constantemente, existiendo la necesidad de tomar medidas de control importantes ante el cambiante comportamiento fluviomorfológico de los ríos de esta zona. De ahí que es necesaria la implementación de un modelo hidráulico que permita no solo predecir niveles esperados en los cauces de los ríos sino que además permita identificar posibles zonas de riesgo, siendo esto de vital importancia para la toma de medidas de prevención.

1.5 AUSPICIO

El PROMAS U. de Cuenca viene desarrollando proyectos de investigación y consultaría en el campo de los recursos hídricos. El propósito de la presente investigación se centra en la implementación de un modelo hidráulico mediante uso del sistema de información geográfica HEC GeoRAS en cuencas hidrográficas de importancia. En la actualidad PROMAS U. de Cuenca desarrolla el estudio Hidrológico y de modelos hidráulicos en el marco del proyecto "Control de Inundaciones Bulubulu – Cañar"

En este sentido y en el marco del proyecto mencionado la SENAGUA y PROMAS Universidad de Cuenca presentan la necesidad de conocer el comportamiento hidráulico de las cuencas hidrográficas de los ríos Bulubulu y Cañar en la zona del proyecto con la implementación y calibración del modelo HEC GeoRAS.

1.6 DESCRIPCION Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.6.1 Área de Estudio

La zona de estudio comprende parte de las cuencas de los ríos Cañar y Bulubulu, principalmente en las planicies costaneras de los cantones La Troncal y El Triunfo, con una extensión aproximada de 200 000 Ha, abarcando los poblados de Manuel J Calle, Puerto Inca, La Troncal y Cochancay.

Esta región debido a su morfología, condiciones de zona (baja pendiente), y principalmente a sus condiciones climáticas, tienen como eje de desarrollo la actividad agroindustrial, siendo el terreno el lugar primordial y los suelos los pilares para el desarrollo de dicha actividad, lo que hace necesario que la seguridad de los mismos sea el objetivo principal. Por este motivo es preciso reconocer los sitios de alto riesgo para tomar medidas de seguridad adecuadas.

La región presenta una estructura geomorfológicas plana, con pocas irregularidades, típica de las zonas costeras.

1.6.2 Materiales y Métodos

Para el desarrollo de la investigación se requiere el conocimiento y uso de programas (software) mundialmente utilizados y de libre distribución como lo es: HEC RAS 4.1.0, HEC GEORAS 4.2.93 y de la adecuada interpretación de sus resultados.

HEC-RAS es un paquete integrado de análisis hidráulico, programa en el cual el usuario actúa recíprocamente con el sistema a través del uso de una Interface Gráfica del Usuario (GUI). El sistema es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme e incluirá Flujo variado, Transporte de sedimentos, etc.

En la terminología de HEC-RAS, un proyecto es un juego de archivos de datos asociados con un sistema de un río en particular. El modelador puede realizar cualquiera o varios tipos de análisis incluyendo en el paquete de HEC-RAS, como parte del proyecto. Los archivos de datos para un proyecto se categorizan como sigue:

- Datos de planta
- Datos geométricos
- Datos de flujo uniforme
- Datos de flujo variado
- Datos de sedimentos y
- Los datos de diseño hidráulico.

Después de que las simulaciones son hechas para los varios escenarios, los resultados pueden compararse simultáneamente en la forma tabular y gráfica.

El HEC - GeoRAS es una extensión para ArcGIS desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI). Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos geoespaciales que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con el HEC - RAS. HEC - GeoRAS está escrito en el lenguaje de programación Avenue y es el resultado de la evolución de la extensión AVRAS.

El HEC-GeoRAS crea un archivo para importar a HEC-RAS datos geométricos del terreno, incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc. Posteriormente los resultados de calados y velocidades se exportan desde HEC-RAS a ArcView y pueden ser procesados para obtener mapas de inundación y riesgo.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 CONCEPTOS DE FLUJO DE FLUIDOS EN CANALES ABIERTOS.

2.1.1.1 Definición

El flujo de canales abiertos tiene lugar cuando los líquidos fluyen por la acción de la gravedad y solo están parcialmente envueltos por un contorno sólido. En el flujo de canales abiertos, el líquido que fluye tiene superficie libre y sobre él no actúa otra presión que la debida a su propio peso y a la presión atmosférica. El flujo en canales abiertos también tiene lugar en la naturaleza, como en ríos, arroyos, etc., si bien en general, con secciones rectas del cauce irregulares. De forma artificial, creadas por el hombre, tiene lugar en los canales, acequias, y canales de desagüe. En la mayoría de los casos, los canales tienen secciones rectas regulares y suelen ser rectangulares, triangulares o trapezoidales. También tienen lugar el flujo de canales abiertos en el caso de conductos cerrados, como tuberías de sección recta circular cuando el flujo no es a conducto lleno. En los sistemas de alcantarillado no tiene lugar por lo general, el flujo a conducto lleno, y su diseño se realiza como canal abierto.

2.1.1.2 El Número de Reynolds y el carácter del flujo

El número de Reynolds permite predecir el carácter turbulento o laminar en ciertos casos. Así por ejemplo en conductos, si el número de Reynolds es menor de 2000 el flujo será laminar, y si es mayor de 4000 el flujo será turbulento. El mecanismo y muchas de las razones por las cuales un flujo es laminar o turbulento son: la aceleración o desaceleración que se produce en el fluido provocado por las fuerzas inerciales.

2.1.1.3 Tipos de flujo en canales abiertos.

El flujo en un canal abierto se estudia a través de dos criterios, el primero es el criterio espacio y el segundo es el criterio tiempo, estos son factores que dan origen a los siguientes tipos de flujo:

- Flujo permanente
- Flujo no permanente.
- Flujo uniforme
- Flujo variado.
- Flujo laminar.
- Flujo turbulento..
- Flujo critico.

- Flujo supercrítico.
- Flujo subcrítico.

Flujo permanente

Tiempo como criterio. Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad del flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.

Flujo no permanente

Si la profundidad cambia con el tiempo. En la mayor parte de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes. Sin embargo el cambio en la condición del flujo con respecto al tiempo es importante, el flujo debe tratarse como no permanente, el nivel de flujo cambia de manera instantánea a medida que las ondas pasan y el elemento tiempo se vuelve de vital importancia para el diseño de estructuras de control.

Flujo uniforme

Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad del flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo uniforme puede ser permanente o no permanente, según cambie o no la profundidad con respecto al tiempo. El flujo uniforme permanente es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. La profundidad del flujo no cambia durante el intervalo de tiempo bajo consideración. El establecimiento de un flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie del agua fluctuara de un tiempo a otro pero permaneciendo paralela al fondo del canal.

Flujo variado

El flujo es variado si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal, el flujo variado puede ser permanente o no permanente.

El flujo variado puede clasificarse además como rápidamente varia o gradualmente variado. El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias relativamente cortas; de otro modo, es gradualmente variado.

Flujo laminar

El movimiento de un fluido es perfectamente ordenado, estratificado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse si la corriente tiene lugar entre dos planos paralelos, por tanto las capas no se mezclan entre sí. Es por eso que se presentan en flujos con velocidades bajas o con viscosidades altas.

(Número de Reynolds pequeño < 2000).

Flujo turbulento

Los efectos de la viscosidad son despreciables y el flujo es más errático produciendo que las partículas se muevan desordenadamente y su trayectorias formen pequeños remolinos. Esta trayectoria es predecible hasta cierta escala, a partir de ella la partícula se vuelve impredecible.

(Número de Reynolds > 100000).

Flujo crítico

Presenta una combinación de fuerzas inerciales y gravitacionales que lo hacen inestable,. Este tipo de flujo es bastante inaceptable y poco recomendable, usarlo en el diseño de estructuras hidráulicas. El número de Froude es igual a 1 y en esta condición no se generan resaltos hidráulicos.

Flujo supercrítico

En este tipo de flujo las fuerzas inerciales presentan una influencia mucho mayor que las fuerzas gravitacionales. Además, el flujo se presenta a velocidades y pendientes altas, y a profundidades más pequeñas. Cuando existe un flujo de este tipo en un canal un aumento en la cantidad de energía provoca una disminución de la profundidad de la lámina de agua. El número de Froude, en este caso, es mayor a 1. Este estado de flujo propicia la formación de resaltos hidráulicos.

Flujo subcrítico

En este tipo de flujo las fuerzas inerciales son sobrepasadas en importancia por las gravitacionales; en el flujo se tienen velocidades y pendientes bajas, pero las profundidades de la lámina del agua, por el contrario, son mayores que las que se presentan en el flujo supercrítico. Para este tipo de flujo un aumento en la energía se traduce en un aumento en la profundidad de la lámina de agua. El número de Froude en este estado es menor a 1.

2.1.1.4 Elementos geométricos de una sección de un canal

Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad del flujo, ver Tabla 8.1.

Entre los elementos tenemos:

- Radio hidráulico (R)

$$R = A/P$$

Donde:

A = área mojada y P = perímetro mojado.

- Profundidad hidráulica (D)

$$D = A/T$$

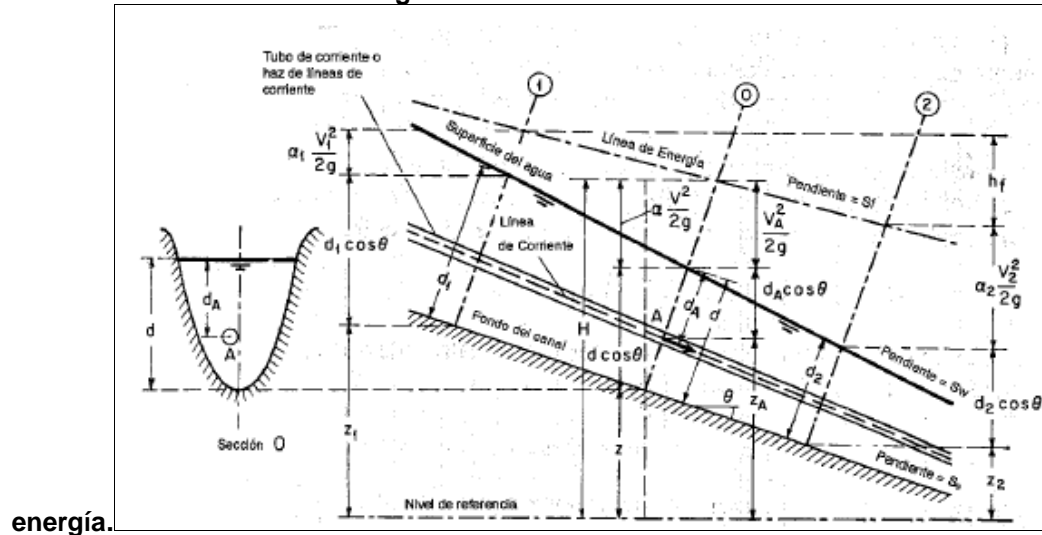
Donde:

A = área mojada y T = ancho de la superficie

2.1.1.5 Ecuación de la energía

La energía total del agua de cualquier línea de corriente que pasa a través de una sección de canal puede expresarse como la altura total de agua, que es igual a la suma de la elevación por encima del nivel de referencia, la altura de presión y la altura de velocidad.

Figura 2.1 Ecuación de la



Fuente: (Streeter, 1970)

De la figura Figura 2.1, la energía total en la sección del canal es:

$$H = z + d \cos(\theta) + \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde z es la elevación del punto por encima del plano de referencia, d es la profundidad del punto por debajo de la superficie del agua medida a lo largo de la sección del canal, θ es el ángulo de la pendiente del fondo del canal y $V^2/2g$ es la altura de velocidad del flujo en la línea de corriente que pasa a través de la sección

Para canales con pendientes bajas, $\theta=0$, por lo que la ecuación es:

$$H = z + d + \frac{V^2}{2 * g}$$

La pendiente de la línea de energía se conoce como gradiente de energía, representada por S_f . La pendiente de la superficie del agua se representa por S_w y la pendiente del fondo del canal por $S_0 = \sin(\theta)$

De acuerdo con el principio de conservación de energía, la altura de energía total en la sección 1 localizada aguas arriba debe ser igual a la altura de energía total en la sección 2 localizada aguas abajo más la pérdida de energía hf entre las dos secciones.

$$z_1 + d_1 \cos(\theta) + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2 * g} = z_2 + d_2 \cos(\theta) + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2 * g} + hf \quad (1)$$

La ecuación anterior aplicable a flujos paralelos o gradualmente variados. Para un canal de pendiente pequeña es:

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2 * g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2 * g} + hf \quad (2)$$

A la ecuación (1) y (2) se les conoce como ecuación de la energía.

2.1.1.6 Principios de energía aplicados al flujo en canales.

Energía específica

La energía específica se define como la cantidad de energía por unidad de peso en cualquier sección, medida siempre con respecto al fondo de un canal abierto. La energía específica solo depende de la profundidad de flujo.

$$E = y + \frac{V^2}{2 * g}$$

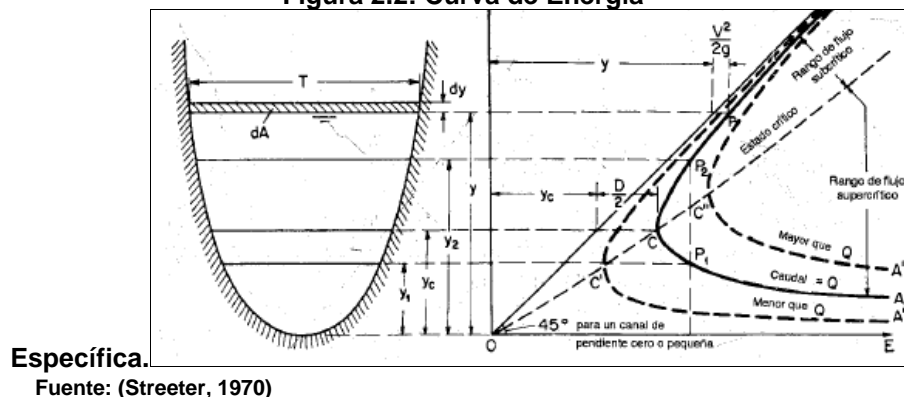
También se puede escribir en términos de caudal de la siguiente forma:

$$E = y + \frac{Q^2}{2 * g * A^2}$$

Curva de energía específica:

La curva de energía específica, (ver Figura 2.1), tiene forma de una parábola que abre hacia la derecha. La región subcrítica tiende asintóticamente a una recta de 45°. Las curvas de energía específica son útiles para resolver 3 tipos de problemas: problemas de continuidad, de elevaciones o presiones del fondo de un canal, o de contracciones. Se puede observar que con excepción de la profundidad crítica, para cada valor de energía corresponden dos valores de profundidad, una subcrítica (mayor que la profundidad crítica) y una supercrítica (por debajo de la profundidad crítica). A medida que el caudal aumenta, la curva se desplaza hacia la derecha.

Figura 2.2: Curva de Energía



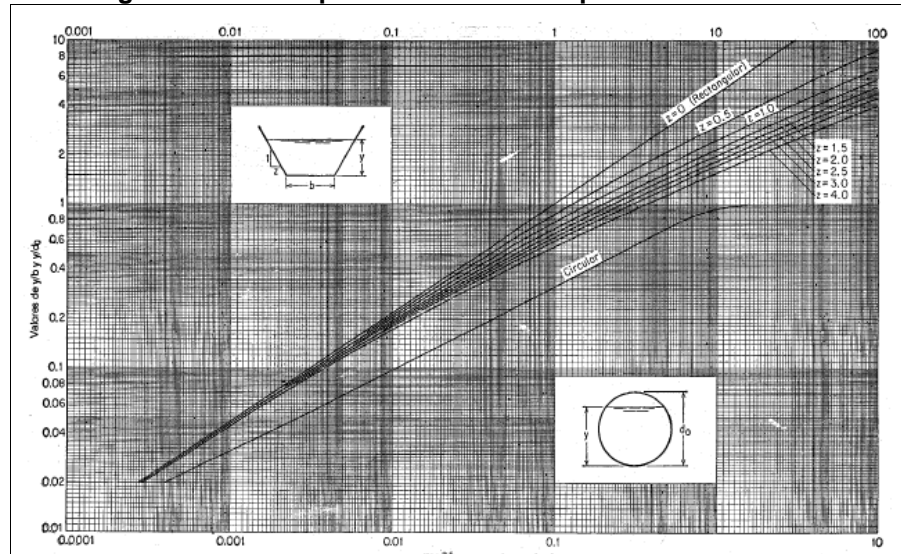
En la curva de energía específica se observa que para una energía específica determinada, existen dos posibles profundidades, una profundidad baja " y_1 " y una profundidad alta " y_2 ", la profundidad baja es la alterna de la profundidad alta y viceversa. En el punto "C" las profundidades alternas se convierten en una llamada profundidad crítica " y_c ".

El estado crítico del flujo a través de una sección de canal se caracteriza por varias condiciones importantes:

- La energía específica es mínima para un caudal determinado.
- El caudal es máximo para una determinada energía específica.
- La fuerza específica es mínima para un caudal determinado.
- La altura de velocidad es igual a la mitad de la profundidad hidráulica en un canal de baja pendiente.
- El número de Froude es igual a la uno.
- La velocidad de flujo en un canal de baja pendiente con distribución uniforme de velocidades es igual a la celeridad de pequeñas ondas gravitacionales en aguas poco profundas causadas por perturbaciones locales.

La profundidad del flujo crítico, como se observa en la Figura 2.3, depende de los elementos geométricos "A" (área) y "D" (profundidad hidráulica) de la sección de canal cuando el caudal es constante, la profundidad crítica en un canal prismático con pendiente uniforme será la misma en todas las secciones, y el flujo crítico en un canal prismático deberá ser por consiguiente flujo uniforme. Para esta condición, la pendiente del canal que mantiene un determinado caudal con una profundidad uniforme y crítica se conoce como pendiente crítica " Sc ". Una pendiente del canal menor que la pendiente crítica producirá un flujo más lento de naturaleza subcrítico para el caudal determinado, se conoce como pendiente suave o subcrítica. Una pendiente mayor que la pendiente crítica producirá un flujo supercrítico.

Figura 2.3: Curva para el cálculo de la profundidad crítica.



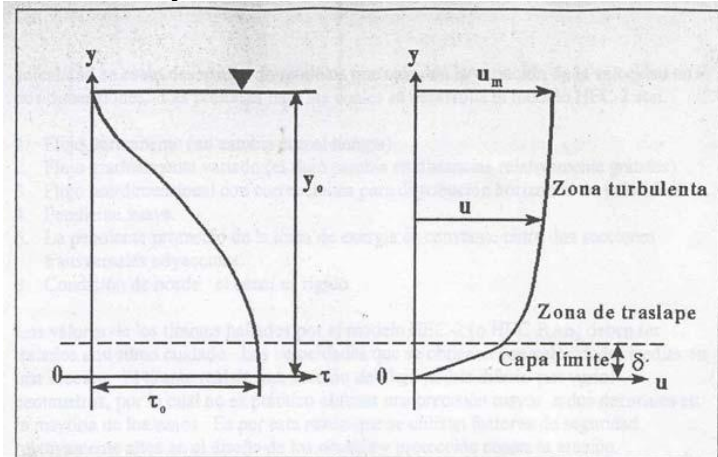
Fuente: (Streeter, 1970)

Distribución de Velocidades

La velocidad del flujo en un canal no es constante en toda la sección transversal. Por ejemplo, en el plano vertical en un canal cuya rugosidad es mínima y el flujo es subcrítico, la velocidad es cero en las paredes y crece muy lentamente dentro de la capa límite, donde el flujo es laminar. Pasada la capa límite, el flujo es turbulento y la distribución de velocidades es distinta al que tenía dentro de la capa límite.

Otro ejemplo puede darse en canales *naturales*: en la curva de un río la velocidad del lado interno es menor (donde se espera que ocurra deposición) que en la del lado externo (donde se espera ocurra erosión). La distribución aproximada de esfuerzos cortantes y de velocidades en la sección transversal de un canal se muestra en la Figura 2.4.

Figura 2.4: Esfuerzo cortante y velocidades cerca del fondo de un canal en flujo



turbulento

Fuente: (Streeter, 1970)

2.1.1.7 El flujo gradualmente variado

El flujo gradualmente variado constituye una clase especial del flujo permanente no uniforme. En este tipo de flujo el área, la rugosidad, la pendiente del fondo y el radio hidráulico varían muy poco a lo largo del canal. A diferencia de lo que ocurre en el movimiento uniforme en el que las pendientes de fondo, de la superficie libre y de la línea de energía, son iguales en el movimiento gradualmente variado estas tres pendientes son diferentes.

El flujo gradualmente variado, es un flujo permanente cuya profundidad varía de manera gradual a lo largo del canal.

Se tendrán en cuenta las siguientes hipótesis:

La pérdida de altura en una sección es igual que la de un flujo uniforme con las mismas características de velocidad y radio hidráulico de la sección. De acuerdo con esta suposición, la ecuación de flujo uniforme puede utilizarse para evaluar la pendiente de energía de un flujo gradualmente variado en una sección de canal determinada, y el correspondiente coeficiente de rugosidad desarrollado en principio para flujo uniforme se aplica al flujo variado.

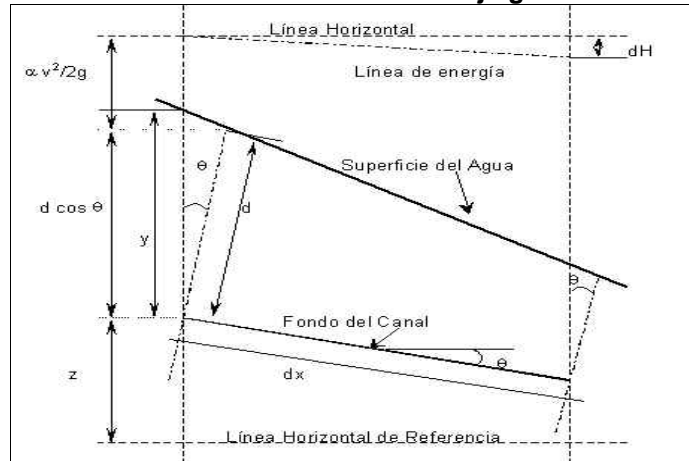
La pendiente del canal es pequeña ($<10\%$). Esto quiere decir que la profundidad del flujo puede medirse verticalmente o perpendicularmente al fondo del canal no se requiere hacer corrección por presión ni por arrastre del aire.

El canal es prismático, es decir, el canal tiene alineamiento y forma constantes. Cuando no es prismático se debe añadir pérdidas a más de la fricción otras por expansión o contracción.

Los coeficientes de distribución de la velocidad y el de rugosidad son constantes en el tramo considerado.

Deducción de la Ecuación general del Flujo Gradualmente Variado

Figura 2.5: Deducción de la ecuación de flujo gradualmente variado.



Fuente: (Streeter, 1970)

La Figura 2.5 muestra el perfil de un flujo gradualmente variado en una longitud elemental "dx" de un canal abierto, donde "H", "Z", "d" y "θ" son según se muestran en la Figura 2.5, "α" es el coeficiente de energía y "v" es la velocidad media del flujo a través de la sección.

Se asume que "θ" y "α" son constantes en el tramo del canal.

La altura total de energía por encima del nivel de referencia en la sección 1 aguas arriba es:

$$E = z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2 * g} = z + d \cos \theta + \alpha \frac{Q^2}{2 * g * A^2}$$

$$\cos \theta = 1 \quad y \quad \alpha = 1.$$

$$E = z + d + \frac{Q^2}{2 * g * A^2}$$

Derivando con respecto a x tenemos:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dd}{dx} + \frac{Q}{2g} \left(\frac{-2}{A^2} * \frac{dA}{dd} * \frac{dd}{dx} \right)$$

Donde:

$$\frac{dz}{dx} = -S_0, \quad \frac{dE}{dx} = -S_f, \quad \frac{dA}{dd} = T$$

Remplazando en la ecuación:

$$-S_f = -S_0 + \frac{dd}{dx} - \frac{Q^2 * T}{g * A^3} * \frac{dd}{dx}$$

Despejando dd/dx :

$$\frac{dd}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - \frac{Q^2 * T}{g * A^3}}$$

$$F_R^2 = \frac{Q^2 * T}{g * A^3} \quad \text{por lo tanto} \quad \frac{dd}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - F_R^2}$$

Donde:

$$S_f = \left(\frac{Q * n * P^{2/3}}{\phi A^{5/3}} \right)^2$$

Donde:

S_f = pendiente de la línea de energía (m/m)

Q = caudal (m³/s)

P = perímetro mojado (m)

A = área (m²)

Clasificación y características de los perfiles de flujo gradualmente variado

Los perfiles de flujo se clasifican con base en dos criterios básicos, el primero se basa en la profundidad del flujo, de forma que la profundidad se divide en tres zonas de interés:

- **Zona 1:** Sobre la profundidad normal (en pendiente subcrítica) ó sobre la profundidad crítica (en pendiente supercrítica).
- **Zona 2:** Entre las profundidades crítica y normal.
- **Zona 3:** Bajo la profundidad crítica (en pendiente subcrítica) ó bajo la profundidad normal (en pendiente supercrítica).

El segundo criterio se basa en la pendiente del canal, de modo que esta se divide en cinco tipos:

- **H:** Horizontal.
- **M:** Moderada o subcrítica.
- **C:** Crítica.
- **S:** Pronunciada o supercrítica.
- **A:** Adversa.

Los dos criterios permiten hacer la clasificación como H2, H3; M1, M2, M³; C1, C2, C3; S1, S2, S3; A2 y A3, donde la letra se refiere a la pendiente y el número a la zona de profundidad. A continuación se presenta un análisis general de esta clasificación.

Canales de pendiente moderada o suave (tipo M).

$$S_0 < S_c \text{ y } y_0 > y_c$$

Donde:

S_0 : pendiente del canal

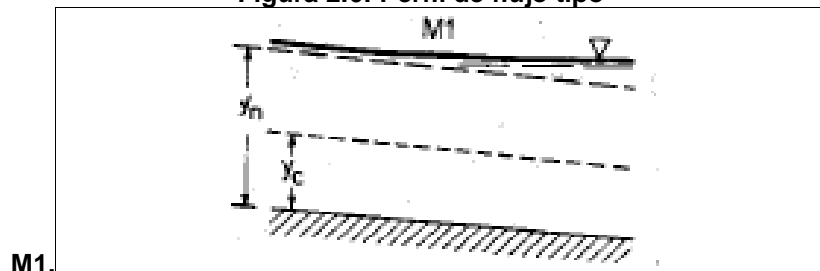
S_c : pendiente crítica.

y_0 : altura del flujo normal.

y_c : altura del flujo crítico.

Perfil M1: representa la curva de remanso más conocida como se observa en la Figura 2.6; es el más importante de todos los perfiles de flujo desde un punto de vista práctico. Este perfil ocurre cuando el extremo de aguas abajo de un canal suave largo se sumerge en un embalse hasta una profundidad mayor que la profundidad normal de flujo en el canal. Este perfil de flujo se ubica en la zona 1. El extremo de aguas arriba de la curva es tangente a la línea de profundidad normal, debido a que $dy/dx = 0$ cuando $y = y_n$, "y" en el extremo de aguas abajo es tangente a la superficie horizontal del embalse, debido a que $dy/dx = S_0$ cuando $y = \infty$.

Figura 2.6: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y > y_n > y_c$$

$$S_f < S_0 < S_c$$

$Fr < 1$ por lo que el flujo es subcrítico

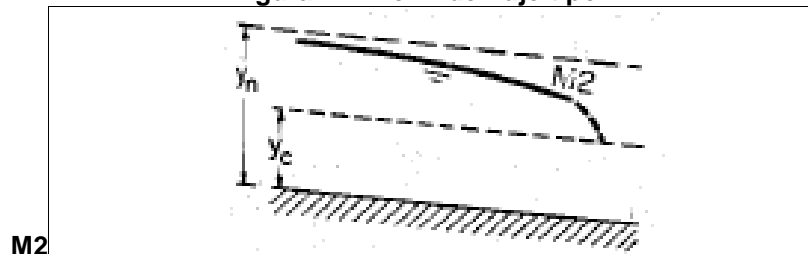
$$dy/dx = +$$

Perfil M2: ocurre cuando el fondo del canal en el extremo de aguas abajo se sumerge en un embalse con una profundidad menor que la normal.

Como se observa en la Figura 2.7, el extremo de aguas arriba del perfil de flujo es tangente a la línea de profundidad normal, debido a que $dy/dx = 0$ cuando $y = y_n$. Si la cantidad de sumergencia en el extremo de aguas abajo es menor que la profundidad crítica, el perfil terminará abruptamente, con su extremo tangente a una línea vertical en una profundidad igual a la profundidad crítica, debido a que

$dy/dx = \infty$ cuando $y = y_c$. Esto implica la formación de una caída hidráulica. Si la profundidad de sumergencia en el extremo de aguas abajo es mayor que la profundidad crítica, entonces se formará tanto perfil como agua haya por encima de la superficie del embalse.

Figura 2.7: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y_n > y > y_c$$

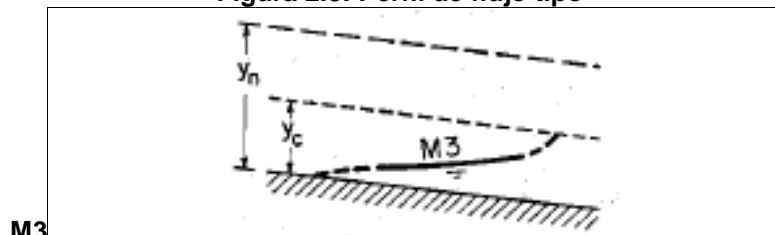
$$S_0 < S_f < S_c$$

$Fr < 1$ por lo que el flujo es subcrítico

$$dy/dx = -$$

Perfil M3: empieza desde el fondo del canal aguas arriba como se observa en la Figura 2.8, con un ángulo de pendiente vertical o con un ángulo agudo, dependiendo del tipo de ecuación de flujo uniforme que se utilice y termina con un resalto hidráulico en el extremo de aguas abajo. Por lo general este tipo de perfil ocurre cuando un flujo supercrítico entra en un canal suave.

Figura 2.8: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y_0 > y_c > y$$

$$S_0 < S_c < S_f$$

$Fr > 1$ por lo que el flujo es supercrítico

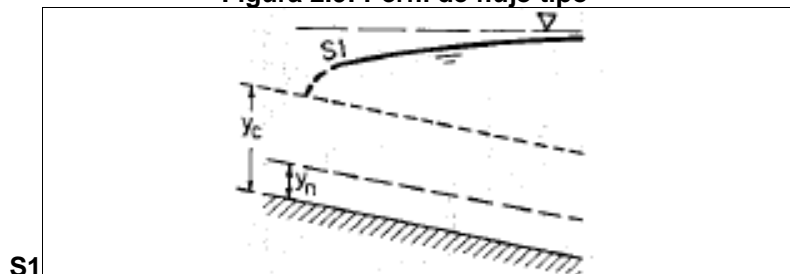
$$dy/dx = +$$

Canales de pendiente pronunciada o fuerte (tipo S)

$$S_0 > S_c \text{ y } y_n < y_c$$

Perfil S1: empieza con un resalto en el extremo de aguas arriba y se vuelve tangente a la horizontal en el extremo de aguas abajo como se observa en la Figura 2.9. Ejemplos de este tipo, son los perfiles de flujo por detrás de una presa en un canal empinado y en un canal empinado llegando a un embalse con una alta elevación.

Figura 2.9: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y > y_c > y_n$$

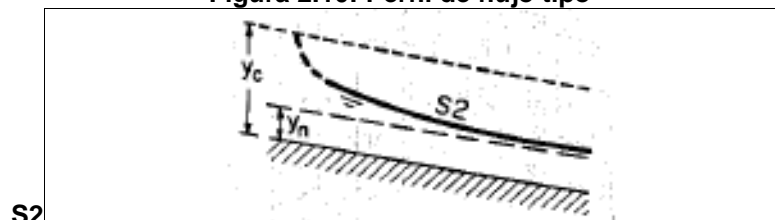
$$S_f < S_c < S_0$$

FR < 1 por lo que el flujo es subcrítico

$$dy/dx = +$$

Perfil S2: es una curva de caída como se indica en la Figura 2.10. A menudo es muy corto y semeja una transición entre una caída hidráulica y un flujo uniforme, debido a que empieza aguas arriba con una pendiente vertical en la profundidad crítica y es tangente a la línea de profundidad normal en el extremo de aguas abajo. Ejm: son los perfiles formados en el lado de aguas abajo de un ensanchamiento de sección de canal y en el lado empinado de un canal que cambia su pendiente de empinada a más empinada.

Figura 2.10: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y_c > y > y_n$$

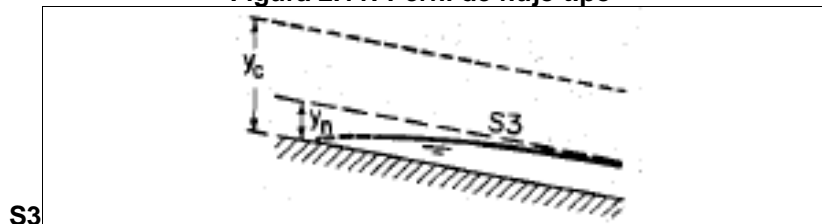
$$S_c < S_f < 0$$

$Fr > 1$ por lo que le flujo es supercrítico

$$dy/dx = -$$

Perfil S3: es también del tipo transicional como se indica en la Figura 2.11, conformado entre un flujo supercrítico entrante y la línea de profundidad normal a la cual el perfil es tangente. Ejm: son el perfil en el lado de pendiente empinada en un canal que cambia pendiente de empinada a menos empinada y debajo de una compuerta con una profundidad de flujo entrante menor que la profundidad normal en un canal de pendiente empinada.

Figura 2.11: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y_c > y_n > y$$

$$S_c < S_0 < S_f$$

$Fr > 1$ por lo que le flujo es supercrítico

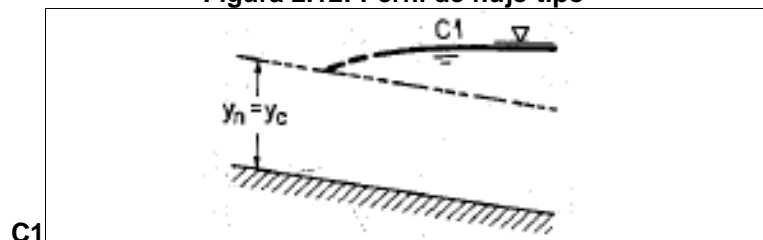
$$dy/dx = -$$

Canales de pendiente crítica (tipo C).

$$S_0 = S_c \quad y_0 = y_c$$

Perfil C1: corresponde a un flujo con tirantes por encima del crítico, en la Figura 2.12, se observa que la curva es convexa hacia arriba.

Figura 2.12: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

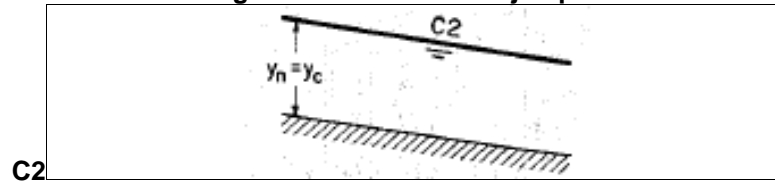
$$y > y_n = y_c$$

$$S_f < S_0 = S_c$$

$Fr < 1$ por lo que el flujo es subcrítico

Perfil C2: representa el caso de flujo uniforme crítico como se observa en la Figura 2.13.

Figura 2.13: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

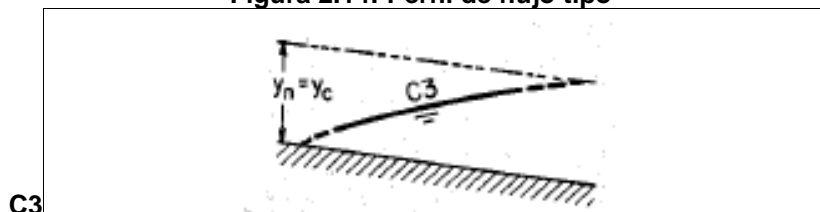
Característica:

$$y = y_n = y_c$$

$$S_f = S_0 = S_c$$

Perfil C3: corresponde a un flujo con tirantes por debajo del crítico, la curva es convexa hacia arriba como se indica en la Figura 2.14.

Figura 2.14: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y_n = y_c > y$$

$$S_0 = S_c < S_f$$

$Fr < 1$ por lo que el flujo es supercrítico

$$dy/dx = +$$

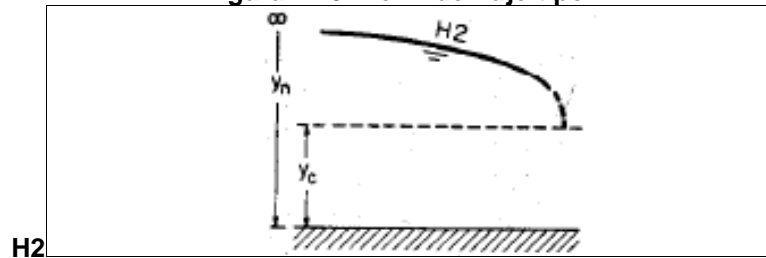
Canales de pendiente horizontal (**tipo H**).

$$S_0 = 0 \quad y_n = \infty$$

Éstos son los casos limitantes de perfiles **M** cuando el fondo del canal se vuelve horizontal.

Perfil H2: Como se observa en la Figura 2.15, este perfil es semejante al M2

Figura 2.15: Perfil de flujo tipo



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

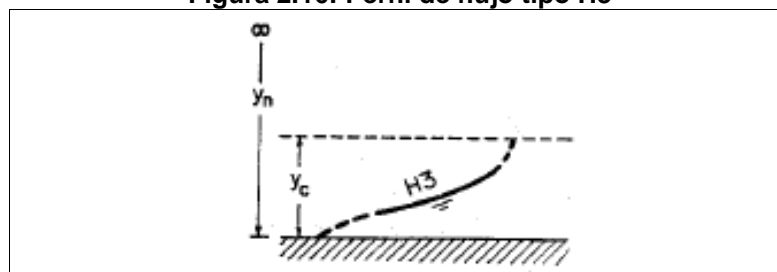
$$y > y_c$$

$$S_f < S_c$$

$F_R < 1$ por lo que el flujo es subcrítico

Perfil H3: este perfil es semejante al perfil M3 como se aprecia en la Figura 2.16.

Figura 2.16: Perfil de flujo tipo H3



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y < y_c$$

$$S_f > S_c$$

$F_R > 1$ por lo que el flujo es supercrítico

$$dy/dx = +$$

Perfil H1: no puede establecerse en realidad, debido a que y_n es infinito.

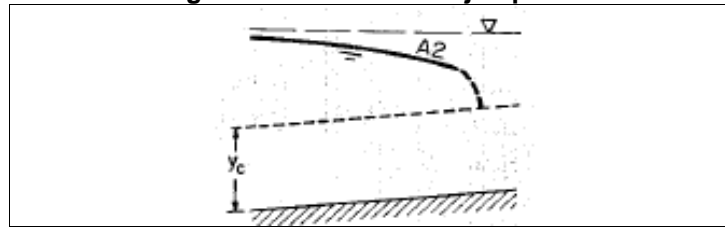
Canales de pendiente adversa o negativa (tipo A)

$$S_0 < 0$$

Cuando el fondo del canal aumenta de nivel en dirección del flujo se dice que el perfil de la superficie del agua resulta adverso.

Perfil A2: es similar al perfil H2 como se indica en la Figura 2.17.

Figura 2.17: Perfil de flujo tipo A2



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y > y_c$$

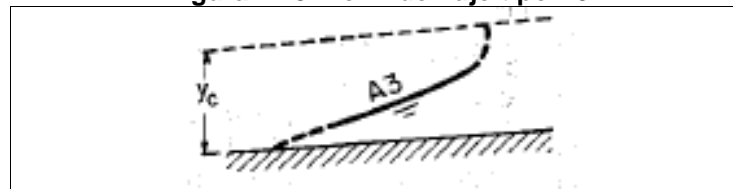
$$S_f < S_c$$

$Fr < 1$ por lo que el flujo es subcrítico

$$dy/dx = -$$

Perfiles A3: es similar al perfil H3 como se aprecia en la Figura 2.18.

Figura 2.18: Perfil de flujo tipo A3



Fuente: (Streeter, 1970)

Característica:

$$y < y_c$$

$$S_f > S_c$$

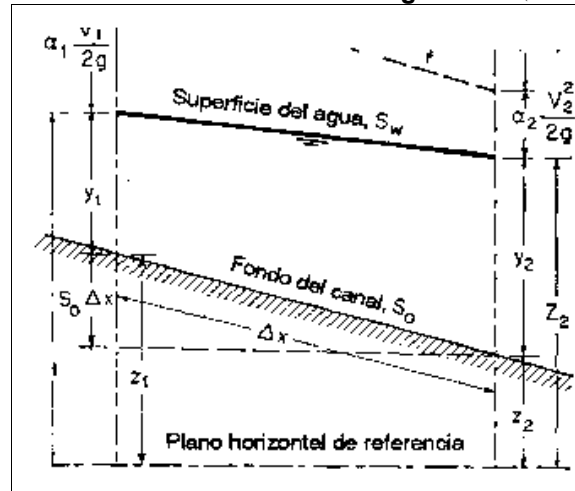
$Fr > 1$ por lo que el flujo es supercrítico

2.1.1.8 Cálculo del perfil de flujo

Método del paso directo.

Un método de paso se caracteriza por dividir el canal en tramos cortos y llevar a cabo los cálculos paso a paso desde un extremo del tramo hasta el otro. El método del paso directo es un método de paso simple aplicable a canales prismáticos.

Figura 2.19 Tramo de canal corto de longitud Δx . (VEN TE CHOW, 1994)



Fuente: (Ven Te Chow, 1994)

Al igualar las alturas totales en los extremos de las secciones 1 y 2, puede escribirse lo siguiente:

$$S_0 \Delta x + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + S_f \Delta x$$

Donde:

V = velocidad media, α = coeficiente de energía, S_0 .=pendiente de fondo y

S_f = pendiente de fricción

Despejando Δx tenemos:

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f} = \frac{\Delta E}{S_0 - S_f}$$

Donde:

E = energía específica, al suponer $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$

Cuando se utiliza la ecuación de Manning, la pendiente de fricción se expresa mediante:

$$S_f = \frac{n^2 * V^2}{2.22 R^{4/3}}$$

El método del paso directo se basa en la ecuación Δx

2.1.2 INTRODUCCION A LA INGENIERIA DE RIOS

2.1.2.1 Definiciones.

La ingeniería de los ríos realiza el estudio de las intervenciones humanas, con el fin de aprovechar el potencial de este recurso o también con el fin de prevenir desastres y reducir riesgos. A diferencia del resto del campos de la Ingeniería Civil, está sujeta a una diversidad de factores que hacen que las variables de las que depende el comportamiento de los ríos se vuelvan incontrolables. La hidráulica de canales abiertos sirve como antecedente a la hidráulica fluvial, ya que el comportamiento de un río es diferente al de un canal.

Por otra parte los canales tienen factores establecidos como son: parámetros de diseño (caudal de diseño), trazado, revestimiento, sección y otras medidas de control y regulación, pero cuando hablamos de ríos tenemos: características hidráulicas diferentes en cada sección, arrastre de fondo, variabilidad total de caudales con presencias de flujos crítico y subcrítico, avenidas que modifican el cauce, etc. El trazado o curso de un río es cambiante, y es relativo al lecho del río, en el caso de ríos de llanura, estos siempre buscan un acomodo de forma sinuosa.

Otro aspecto a considerar son las curvas suaves de remanso que se producen en los canales no se dan necesariamente en los ríos, tampoco se puede determinar las cargas localizadas.

Con respecto a la rugosidad tenemos que el comportamiento de un río es mucho más complejo, ya que depende del material que se encuentra en el lecho, junto con la forma del lecho y más aún cuando se inundan las llanuras, el problema de la rugosidad se vuelve más complejo.

Una avenida es aquella condición que produce las mayores solicitaciones del cauce: erosiones, deslizamientos, e inundaciones, y por lo tanto ponen a prueba la estabilidad del cauce.

Clasificación Básica de los Ríos.

Existen características de los ríos que son frecuentes y que tienen gran importancia. Estas características son:

La morfología de los ríos, la cual se asocia tanto a la geografía como a la pendiente de los mismos, esto es debido a que los ríos ejercen una acción dinámica sobre el relieve.

Las características de la cuenca y las precipitaciones determinan el régimen hidrológico de los ríos, muchas veces se asocia los caudales únicamente a las precipitaciones sin tomar en cuenta los deshielos, esto es usual en climas tropicales donde se tienen periodos de precipitaciones extensos.

El agua subterránea es otro factor que garantiza la permanencia de un régimen, en cambio la alta permeabilidad hace que el río se seque.

De acuerdo con los factores mencionados anteriormente se determinaron diferentes tipos de ríos. Para el alcance del presente estudio se describieron los siguientes:

-Los *ríos efímeros* son aquellos que tienen un caudal durante las grandes precipitaciones, pero que el resto del tiempo permanecen secos, como es el caso de los ríos de la Costa del Ecuador donde se produce una variación de los cauces, dando lugar un cambio en su morfología.

-Los *ríos aluviales* son los que se mueven sobre depósitos sedimentarios modernos, el lecho se caracteriza por tener materiales granulares sueltos. Estos son los que han formado las llanuras aluviales, que por lo general se denominan Llanuras de inundación, esto es debido a que estos materiales se extienden horizontalmente mucho más allá del cauce principal y como consecuencia modifican el curso del río. Debido a la interacción con los asentamientos humanos, son los que presentan mayor riesgo de inundación.

-Los *ríos de lecho rocoso* son los que se encuentran encajonados en los valles y por lo tanto la interacción con los asentamientos humanos es baja.

Se denominan *ríos torrenciales* a los que tienen pendientes mayores al 1.5% y torrentes a los que tienen pendiente mayor al 6%. (MARTIN VIDE, 2003)

-Se denominan *ríos de llanura y de montaña* para englobar los términos de geografía de pendiente. Dependiendo de la composición del material aluvial estos se subdividen en ríos de grava o de arena.

La geología de un río se define por la erosión en la cabecera donde la pendiente es alta y los materiales son gruesos, un proceso de transporte generalmente por abrasión en el tramo medio y finalmente una sedimentación donde la pendiente es baja y los materiales son finos.

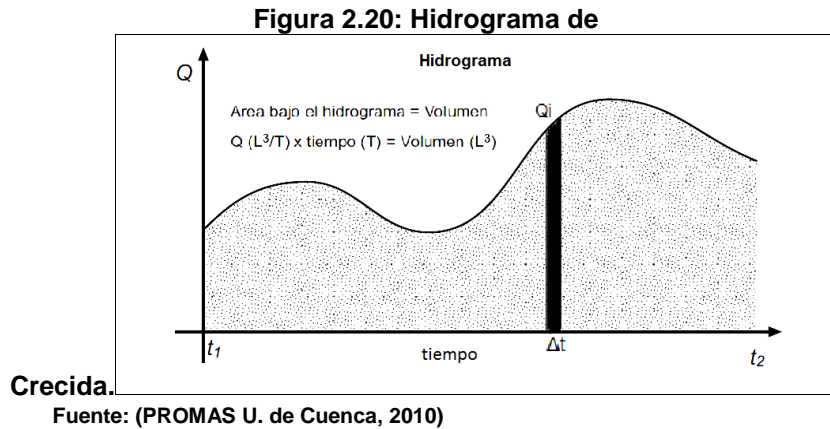
2.1.2.2 Hidrología Fluvial

Se refiere a la secuencia en la que se presentan los caudales de un río. Las medias anuales y mensuales o el caudal total se utilizan para mostrar el registro de escorrentía que pasa por una estación. Se debe dibujar un número suficiente de puntos para indicar adecuadamente los cambios significativos en las pendientes del hidrograma. Las escalas para dibujar varían con cada problema, (en metros cúbicos por segundo y minutos en las cuencas más pequeñas hasta miles de metros cúbicos por segundo y horas o días en las cuencas muy grandes).

El régimen hidrológico se refiere a la variación de los datos de caudales y precipitaciones en un periodo de tiempo determinado, que puede ser por lo general de un año. Trabajando con estos datos se pueden obtener los Hietogramas para las precipitaciones e Hidrogramas para los caudales.

Hidrograma.- Es una expresión gráfica del caudal en función del tiempo $Q = f(t)$ y se puede dar en escalas muy diversas, es decir en intervalos de tiempo corto (hidrograma de crecida) e intervalos de tiempo largo (Curva de Caudales clasificados de 1 año), ver Figura 2.20. El área bajo el hidrograma es el volumen

de agua que pasó por un punto de aforo en un intervalo de tiempo t_1 - t_2 o en un intervalo Δt .



Un hidrograma de crecida representa la escorrentía directa producto de las precipitaciones que se dan en una cuenca determinada y en un intervalo de tiempo relativamente corto. En este tipo de hidrograma se puede distinguir dos fases de interés:

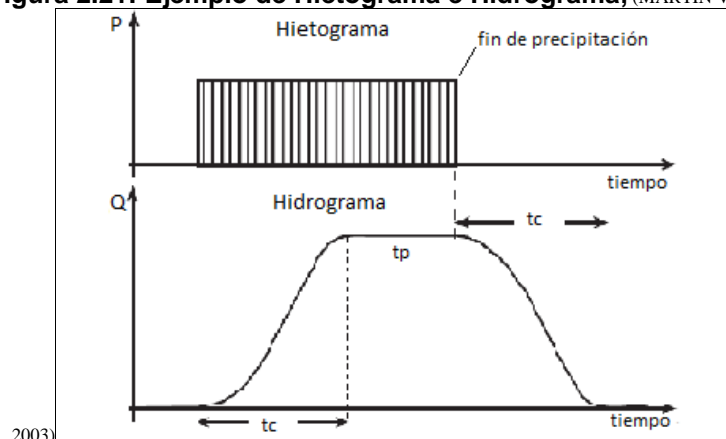
Tiempo de concentración

Tiempo transcurrido desde el inicio de la precipitación hasta que la intensidad del caudal o la precipitación se vuelve constante, es el tiempo que tarda la primera gota que cayó en la parte más alejada de la cuenca en llegar a la salida de la cuenca (t_c), ver Figura 2.21. El tiempo transcurrido desde que cesa la precipitación hasta que la última gota de agua que cayó en la parte más alejada de la cuenca llega a la salida de la cuenca, también es igual al tiempo de concentración.

Duración de la Precipitación

Es el tiempo que la precipitación y por ende el caudal se mantiene constante (t_p).

Figura 2.21: Ejemplo de Hietograma e Hidrograma, (MARTIN VIDE,



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Curvas de duración general de Caudales

Se obtienen ordenando de mayor a menor los diferentes datos diarios, donde el área total debajo de la curva representa la aportación anual. Los datos de avenidas no se incluyen, pues no se producen necesariamente, sino que estudian estadísticamente ordenándolos en valores máximos por año para ver la probabilidad de ocurrencia.

Con el hidrograma se pueden realizar análisis como:

- Tiempo de duración de los caudales cercanos al máximo.
- La forma del hidrograma se relaciona con los cambios que se dan en el cauce. Tal es el caso de la erosión. También con las características de la cuenca.
- Determinar volúmenes y duración de las inundaciones.
- Sumar hidrogramas de afluentes al río, se puede dar una ampliación o una discordancia de los hidrogramas en cualquier caso.

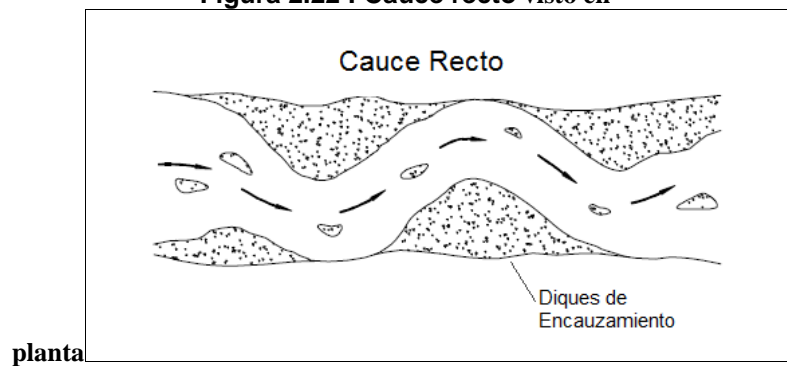
2.1.2.3 Morfología Fluvial

La morfología de un río está relacionada con el trayecto o recorrido que presenta el cauce, de esta forma se pueden distinguir los siguientes tipos de cauce:

Cauces Rectos

En la naturaleza no existen, más bien son producto de obras de encauzamiento constituidas por diques paralelos y dentro de estos diques se desarrolla sinuosidad bajo caudales menores al caudal de diseño, por otra parte el río se comporta como recto debido a que el caudal de diseño ocupa toda la sección transversal. En la Figura 2.22 se muestra este tipo de cauce en planta, donde hay desarrollo de pequeños meandros limitados por los diques de encauzamiento. "El desarrollo de estas curvas puede atacar frontalmente a los diques de encauzamientos" (Rocha Felices, 1998).

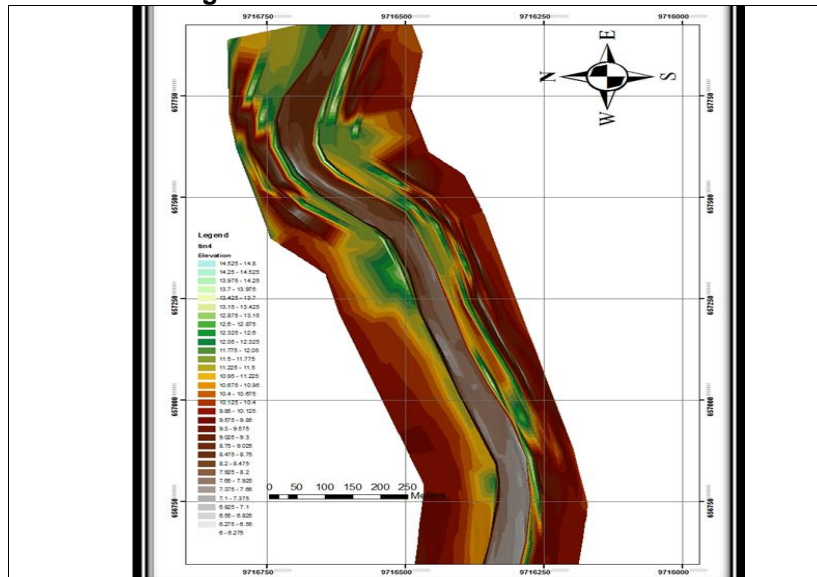
Figura 2.22 : Cauce recto visto en



Fuente: (Rocha Felices, 1998)

Dentro del área de estudio se observan esta morfología en el río Piedras y algunos tramos del río Cañar, ver Figura 2.23.

Figura 2.23: Cauce recto del río Cañar

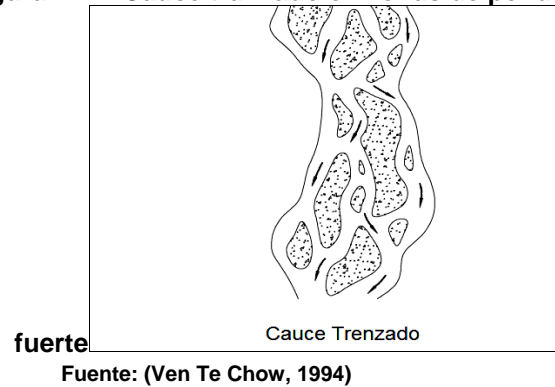


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Cauces trenzados o divagantes

Se presentan en formas entrelazadas con formación de pequeñas islas como se indica en la Figura 2.24, son poco estables y dependen mucho del transporte de sedimentos que se produce. Se conocen dos causas que explican la existencia de estas formas: la primera se debe al exceso de sedimentos que el río no puede transportar, la segunda es la pendiente fuerte que da lugar a pequeños tirantes. Las avenidas tienden a cambiar las formas con facilidad. Son típicos en ríos de montaña donde se encuentran los depósitos de pie de monte. Este tipo de forma es característica también de los ríos estudiados en la zona de estribaciones de la cordillera de los Andes.

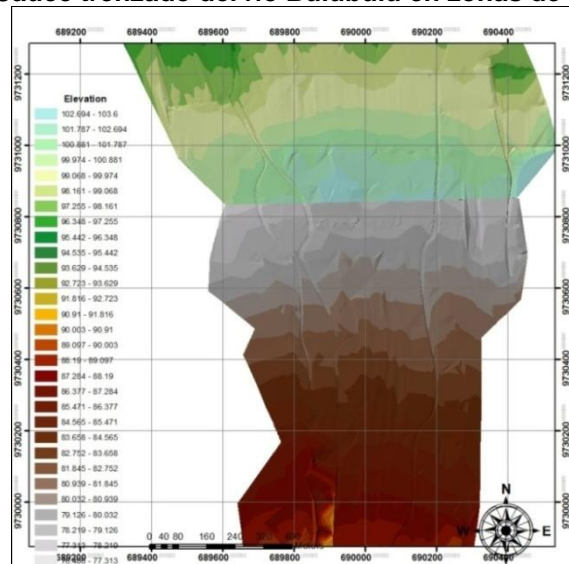
Figura 2.24: Cauce tronzado en zonas de pendiente



Fuente: (Ven Te Chow, 1994)

Un ejemplo de cauce tronzado se observa en el río Bulubulu ubicado dentro del área del proyecto Bulubulu - Cañar. En la Figura 2.25 se aprecia distintos cauces de poca profundidad, la alta pendiente aguas arriba es una de las posibles causas que dieron origen a esta morfología.

Figura 2.25: Cauce tronzado del río Bulubulu en zonas de alta pendiente.

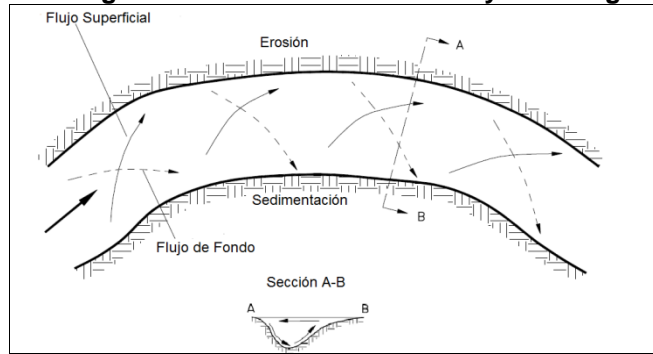


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Cauce Sinuoso o Meándrico

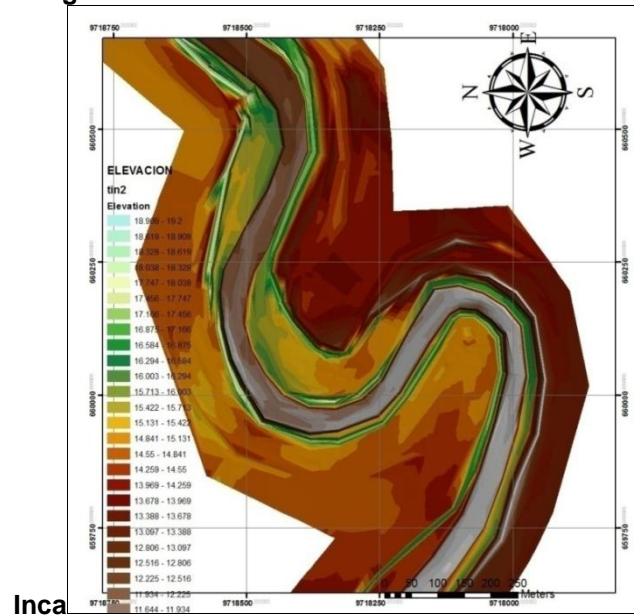
Cauce único pero con formas curvas, los ríos meándricos están formados por una sucesión de curvas. Hay una relación entre la forma de la planta y la geometría de las secciones, donde el calado es mayor en la orilla exterior (cóncava) y menor en la orilla interior (convexa) de la curva, esto es debido a que se da un flujo helicoidal como se observa en la Figura 2.26. El lugar geométrico de los puntos de mayor profundidad a lo largo del río se denomina thalweg.

Figura 2.26 : Cause Meándrico y Thalweg



Fuente: (Rocha Felices, 1998)

Figura 2.27. Meandros del Río Cañar en Puerto

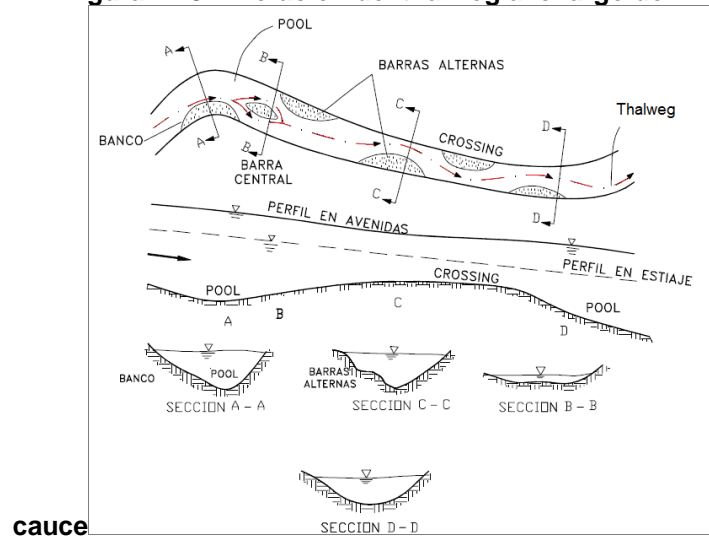


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La Figura 2.27 demuestra que existe zonas de meandros dentro del tramo del río Cañar, pero en general este río se considera recto.

Como se observa en la Figura 2.28 la línea de Thalweg tiene mayor profundidad en la margen exterior de las curvas, esta zona profunda se denomina pool (pozo). Los cruces entre curva y curva crossing (cruce) también se denominan Vados, en este cruce la línea de Thalweg tiene menor profundidad y por lo tanto las orillas están sujetas a mayor erosión.

Figura 2.28: Evolución del thalweg a lo largo del



Fuente: (Rocha Felices, 1998)

Los meandros presentan dos formas de evolución, un desplazamiento aguas abajo y una profundización en la otra dirección, encontrándose este tipo de recorrido en la planicie costanera de los ríos Cañar y Bulubulu.

Dependiendo de la resistencia a la erosión los meandros pueden ser:

- Regulares, en materiales poco heterogéneos.
- Irregulares, cuando se presentan en materiales heterogéneos.
- Simples, si tienen longitud de onda dominante.
- Compuestos, cuando son una combinación de los anteriores.

Los meandros evolucionan hasta que los cuellos se juntan y la corriente toma un atajo, creando un estrangulamiento, de esta forma los lóbulos o lasos pasan a formar lagos.

2.1.2.4 Geometría Hidráulica de un Río.

Los ríos pueden tener la libertad de ajustar su cauce a lo ancho, el calado y la forma en planta, esta situación ha llevado a buscar relaciones empíricas a partir de observaciones, de esta manera se busca predecir o caracterizar la geometría de un río, lo cual es muy importante en la Hidráulica Fluvial dentro del diseño de los encauzamientos.

De acuerdo a lo anterior se han determinado algunas condiciones que diferencian un cauce Trenzado y Meándrico. Se ha observado y estudiado el comportamiento de varios ríos: Mississippi, Missouri, Colorado, Illinois, Arkansas, entre otros, con el fin de determinar estas relaciones empíricas.

A continuación se indican los criterios según (Rocha Felices, 1998) para diferenciar entre una morfología trenzada y meándrica, en función de la pendiente "S" y del caudal "Q", con fines prácticos se transformaron las ecuaciones del

sistema inglés al sistema internacional , donde el caudal está en (m³/s) y la pendiente en (m/m)

$$S_0 \cdot Q^{1/4} \leq 0.0041 \text{ Cauce Meandrico}$$

$$S_0 \cdot Q^{1/4} \geq 0.0243 \text{ Cauce Trenzado}$$

En los ríos meándricos se considera aplicable algunas relaciones que involucran sus características geométricas, y cualquier dispersión de los datos de campo se considera poco influyente. Los datos geométricos e hidráulicos que se mencionan en dichas relaciones son los siguientes:

Q = caudal del Río

So = Pendiente medida del cauce

Tabla 2.1: Clasificación de los cauces.

RIO	S med	Q	Criterio	Condición	Morfología
Bulubulu	0.0141	509	0.0668	> 0.0243	TRENZADO
Cañar	0.0012	660	0.0060	> 0.0041 y < 0.0243	RECTO
Patúl	0.0249	525	0.1189	> 0.0243	TRENZADO
Piedras	0.0030	116.4	0.0099	> 0.0041 y < 0.0243	RECTO

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En la Tabla 2.1, puesto que al apreciar que los valores de los criterios expuestos en las ecuaciones anteriores aplicadas al río Cañar y su afluente, el río Piedras, no pertenecen a ninguna de las condiciones, sino que tienen un valor intermedio, se los considera cauces rectos o una combinación de los dos.

2.1.2.5 Caudal Dominante.

El caudal que debe emplearse en el uso de las fórmulas anteriores es el que da lugar u origina la geometría hidráulica que se estudia, es la geometría como consecuencia de ese caudal. Los caudales que tienen una determinada frecuencia, magnitud o una combinación de los dos, pueden ser determinantes y dar lugar a una geometría hidráulica casi permanente.

Se denomina cauce principal al lecho que está limitado por las orillas que lo separan de las llanuras de inundación. La explicación de este cauce se debe a que este evoluciona desde un inicio, primero formando pequeños cursos de agua en el valle plano debido a un caudal normal. Luego por efecto de la

sedimentación se incrementa la cota de las llanuras, debido a la menor velocidad de flujo que se produce en las zonas de inundación y se produce un incremento del tamaño del cauce, esto hace que los desbordamientos sean menos frecuentes. Este proceso llega al equilibrio al punto que se pueden contener los caudales la mayor parte del tiempo, con excepciones de las avenidas.

"El caudal de este cauce principal lleno se denomina caudal formativo, dominante o efectivo, y es el que tiene la mayor acción modeladora en términos de velocidad y esfuerzo cortante."

De acuerdo con (Rocha Felices, 1998), el concepto de caudal dominante pierde importancia cuando se trata de diseños puntuales como por ejemplo un puente, pero es necesario cuando se trata de un estudio integral del comportamiento fluvial a lo largo de un río extenso, como es el caso del río Cañar, donde se verifica el caudal que ocupa la sección de mayor demanda y el caudal máximo.

2.1.2.6 Papel Morfológico de la Vegetación

Es necesario agregar otro factor a la morfología, así como el del agua y los materiales del cauce, la vegetación tiene influencia en la acción modeladora del cauce. La vegetación presenta resistencia al flujo así como también resistencia al transporte del material fluvial, haciendo que se dé la sedimentación.

Esta vegetación no crece de manera proporcional al río, es así que este factor representa mayores dificultades en ríos más pequeños.

Los niveles del río, la acción mecánica de las avenidas, la calidad del agua, son factores que alteran el normal desarrollo de la vegetación, produciendo cambios que afectan a la forma del cauce.

El régimen temporal a diferencia de las variables hídricas también afecta al desarrollo de la vegetación dado que se presenta en diferentes formas, puede ser normal, alterado o invertido las obras de regulación.

2.1.2.7 Torrentes, Ramblas (Arroyos) y Ríos.

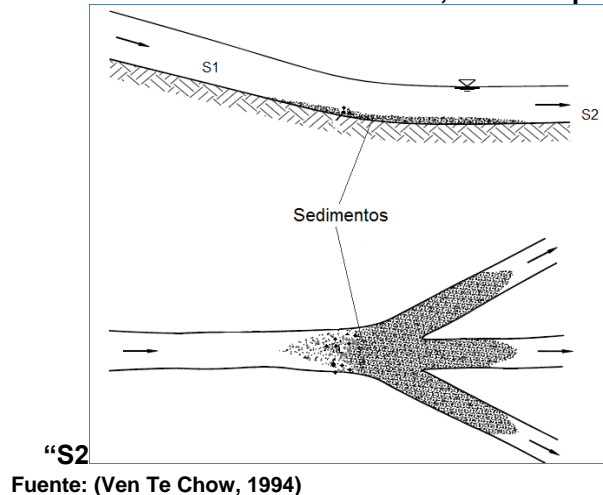
Son cursos de agua con un cauce fijo, pero tienen un caudal intermitente debido a que dependen de las precipitaciones o deshielos que se produzcan en la cuenca de aporte. Las aguas pueden aparecer en forma temporal y cíclica, en zonas con pendientes altas. De esta forma favorece a la erosión de las partes altas.

El torrente se define básicamente por tres partes

- Una cuenca de recepción donde llegan algunos afluentes y predomina un fenómeno de erosión debido a la alta pendiente.
- El cauce de desagüe el cual es el torrente ya formado, la pendiente es pronunciada, aquí predomina el transporte de sólidos y también se produce erosión.
- Un cono de deyección o abanico aluvial en donde predomina la sedimentación. Estos abanicos aparecen cuando hay un cambio de

pendiente de fuerte a suave, esto es de "S1" a "S2" como se indica en la Figura 2.29, entonces el río puede dar lugar a la formación de varios cauces.

Figura 2.29 Sedimentación al final de torrente, donde la pendiente es baja



Los problemas de ingeniería se desarrollan principalmente en el cauce y el cono de deyección, esto es debido al acarreo de sólidos que produce la modificación del cauce principal y las inundaciones producto de esta evolución del cauce.

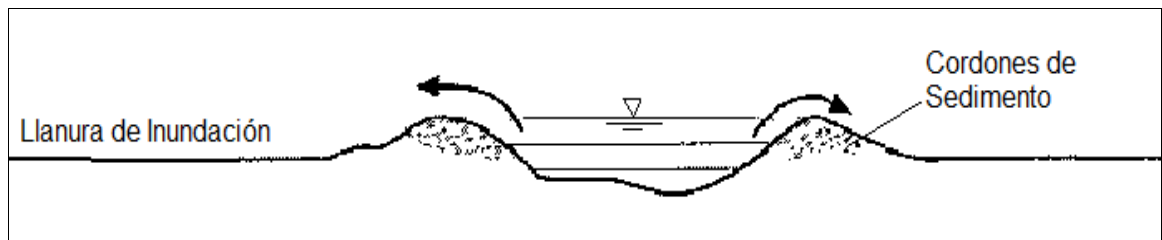
Los torrentes se diferencian de los ríos por la pendiente del hidrograma, donde la velocidad de crecimiento del caudal es mayor, por lo tanto la pendiente del hidrograma del torrente es muy elevada con respecto a la pendiente del hidrograma de un río.

En el torrente hay mayor capacidad de transporte de sólidos, generalmente en las fuertes avenidas, en donde se da una mezcla de agua y de material sólido de carácter destructivo. "Los resultados de investigaciones y mediciones indican que en algunos casos de torrentes la proporción entre el transporte sólido en suspensión y el transporte sólido de fondo puede acercarse el uno al otro. Por el contrario, en los grandes ríos de pequeña pendiente, la masa transportada en suspensión es varias veces mayor que la transportada por el fondo. En la interpretación de estos resultados debemos tener en cuenta que, precisamente, los torrentes se caracterizan por transportar en corto tiempo gran cantidad de sólidos que generalmente no pueden ser medidos. De acá que probablemente la estimación de la masa anual transportada en suspensión por los torrentes sea menor que la verdadera." (ROCHA, 1998). Los tramos fluviales sobre conos de abanico o depósitos de pie de monte a la salida de cauces encajados, experimentan cambios en su morfología, dado que no hay concordancia con la posición de dicho cauce.

2.1.2.8 Morfología de las Llanuras de Inundación

Las llanuras de inundación son las que corresponden a las áreas próximas al cauce principal. Las llanuras de inundación son terrenos planos pero con distintas formaciones. En una sección transversal puede parecer que son planas, pero en realidad son ligeramente cóncavas o convexas. Las llanuras de inundación son convexas cuando las orillas del cauce principal tienen formaciones o cordones y por ende son más altas que el terreno circundante, son típicos los ríos de morfología meandriforme o ríos aluviales de llanura, a estos ríos se les denomina ríos colgados.

Figura 2.30: Perfil de un cauce colgado en un río aluvial. (MARTIN VIDE, 2003)



Fuente: (Martin Vide, 2003)

Otra característica que se puede presentar son depresiones o lugares más bajos que la llanura debido a restos de caudales abandonados, meandros cortados, dando lugares altos y depresiones. Esta situación se presenta generalmente en las cuencas de estudio.

Las llanuras corresponden a formaciones sedimentarias cuaternarias los materiales arcillosos muy finos, limos y arenas que se depositan lejos del cauce principal debido a la menor velocidad, a estos depósitos se les denomina también como depósitos de baja energía, que por lo general están constituidos por arcillas, limos y arenas muy finas.

El proceso más importante que se da en llanuras es la sedimentación, y por lo tanto la cota del terreno tiende a subir, este proceso se denomina acreación vertical. Otro es el proceso de acumulación de material en las partes interiores de las curvas llamado acreación lateral.

2.1.2.9 Morfología de la Desembocadura.

En la desembocadura de un río podemos distinguir dos morfologías importantes, estas son las deltas y los estuarios.

Deltas. Son formaciones sedimentarias mar adentro de superficie extremadamente llana. Su comportamiento tiene la explicación similar al de los abanicos torrenciales, tienen cauces meandriformes; trenzados.

Estuarios. Es una desembocadura del río situada tierra adentro, el cauce se va abriendo mar adentro, puede ser dominante la actividad sedimentaria. En función

de las fases de la marea se produce un cambio en la dirección de la corriente produciéndose fases de llenado y vaciado del estuario. Las corrientes de llenado y vaciado dan lugar a causes meandriformes que evolucionan fácilmente por la escasa resistencia del material sedimentario

2.2 HIDRAULICA DE RIOS

2.2.1 PARAMETROS Y TIPO DE FLUJO

2.2.1.1 Granulometría.

La granulometría de un río se presenta de forma *granular o cohesiva*, siendo un lecho granular aquel que está constituido por partículas sueltas de distintos tamaños (arenas y gravas), como por ejemplo en los ríos aluviales, puesto que estos fluyen sobre los materiales que transporta. Así mismo un lecho cohesivo es aquel que cuando se produce la erosión llega a restablecerse en su forma original, esto quiere decir que vuelven ya como granular y no como cohesivo

La fuerza de gravedad predomina sobre cualquier otra fuerza, por ello la principal propiedad de las partículas de los lechos granulares es su peso que depende del tamaño, y es la fuerza principal que resiste las fuerzas de arrastre. El cauce natural tiene partículas de rocas con un peso específico relativo no muy diferente entre ellas y debido a la gran estabilidad del cuarzo, este es el material más común en la composición de los sedimentos transportados por viento o agua y se ha tomado un peso específico relativo para las arenas semejante al cuarzo de 2,65.

El sedimento cohesivo es el formado por partículas de grano muy fino, constituidas por minerales de arcilla, que se mantienen unidas entre sí por la fuerza de cohesión, la cual se opone a que las partículas individuales sean separadas o del conjunto. Esa fuerza de unión es considerablemente mayor que el peso de cada grano, y es la que resiste a las fuerzas de arrastre.

2.2.1.2 Tamaño de las partículas.

Los métodos utilizados en la determinación del tamaño de una partícula se basan en la selección arbitraria de una longitud simple o diámetro, también en la selección de un método conveniente de medición.

El comportamiento de los sedimentos en un río depende de la distribución de los tamaños, o distribución granulométrica. El procedimiento para obtener la distribución de los tamaños consiste esencialmente en la división de una muestra en un número de clases de tamaños (tamizado) como se indica en la Tabla 2.2

Tabla 2.2: Abertura de Tamices

Malla	Abertura (mm)
0,742"	18.850
0,525"	13.330
0,371"	9.423
# 4	4.760
# 5	4.000
# 8	2.380
# 10	2.000
# 18	1.000
# 20	0.840
# 30	0.590
# 35	0.500
# 40	0.420
# 50	0.297
# 60	0.250
# 100	0.149
# 200	0.074

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En Hidráulica Fluvial se utiliza la clasificación de la AMERICAN GEOPHYSICAL UNION (A.G.U.) denominada también como escala de Wenworth, como se observa en la Tabla 2.3

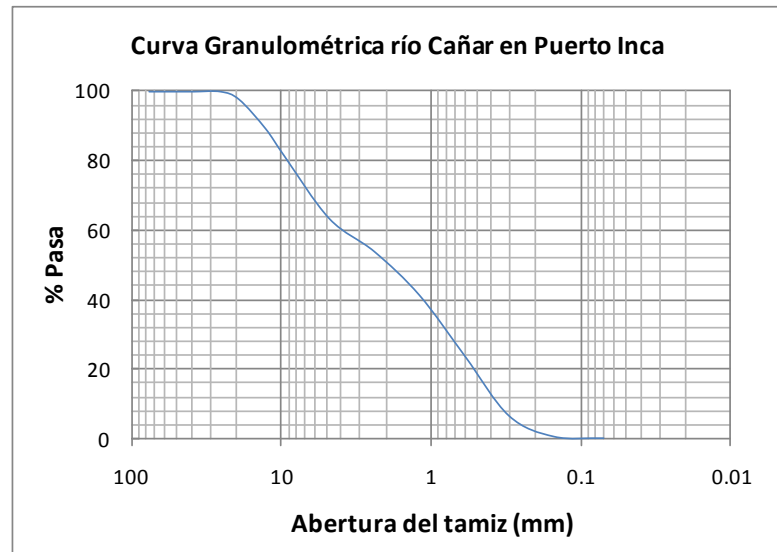
Tabla 2.3: Escala de Wenworth

Grupo	Clase	Tamaño en mm	
1) Cantos rodados (250 - 4000 mm)	muy grandes	4000	- 2000
	grandes	2000	- 1000
	medianos	1000	- 500
	pequeños	500	- 250
2) Guijarros (64 - 250 mm)	grandes	250	- 125
	pequeños	125	- 64
3) Grava (2 - 64 mm)	muy gruesa	64	- 32
	gruesa	32	- 16
	mediana	16	- 8
	fin	8	- 4
	muy fina	4	- 2
4) Arenas (0,062 - 2 mm)	muy gruesa	2	- 1
	gruesa	1	- 0.5
	mediana	0.5	- 0.25
	fin	0.25	- 0.125
	muy fina	0.125	- 0.0625
5) Limo (4 a 62 μ) = (0.004 a 0.062 mm)			
5) Arcilla (0.24 a 4 μ) = (0.00024 a 0.004 mm)			
1 μ = 10 ⁻³ mm			

Fuente: (Rocha Felices, 1998)

Al realizar un análisis granulométrico por tamizado se obtiene la llamada curva de distribución granulométrica de la muestra. La Figura 2.31 es un ejemplo de una curva granulométrica del material del lecho del río Cañar en Puerto Inca, la misma que se dibuja en una escala semilogarítmica.

Figura 2.31: Curva granulométrica del lecho del río Cañar



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Para el estudio de transporte de sólidos y para estimar los efectos de la rugosidad en el lecho de un río existen muchos criterios para asumir un diámetro representativo, pero por lo general se adopta el diámetro que corresponde al 50% del porcentaje acumulado y que se denomina como d_{50} .

2.2.1.3 Umbral o principio del movimiento.

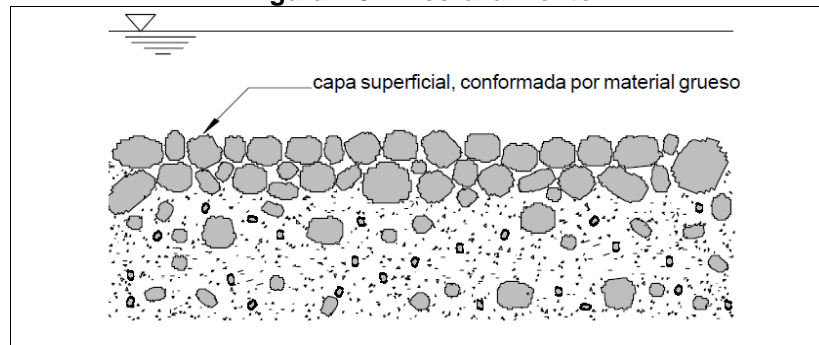
Un lecho granular que posea flujo o corriente de agua puede presenciar en algún momento arrastre de una de sus partículas, de igual manera un lecho granular que posea agua sin fluir, puede ver sus partículas transportarse si sufre un movimiento lo suficientemente considerable, es decir, como el esfuerzo efectivo es cero en el fondo, el esfuerzo total y la presión de agua de poros son iguales. Esta turbulencia producida no es la principal característica a considerar para el arrastre de las partículas, sino la circulación misma del agua que ejerce una fuerza de corte en el fondo, donde la velocidad de dicha circulación se la denomina velocidad de corte y la resistencia a esta fuerza está relacionada con el peso propio de las partículas del lecho.

2.2.1.4 Acorazamiento (Estratificación).

El acorazamiento del lecho es una característica de un río que posee partículas de diferente tamaño, de manera que la corriente puede arrastrar más fácilmente los

finos que los gruesos, teniendo las partículas gruesas en la parte superficial y las partículas finas en el fondo.

Figura 2.32: Acorazamiento



Fuente: (Rocha Felices, 1998)

Debajo de la capa superficial del acorazamiento se encuentra el lecho fluvial con la granulometría correspondiente a las condiciones originales. Si empezara a fluir un caudal mayor sobre este lecho acorazado, llegara un momento en el que empiece a transportar partículas más gruesas constituyentes de la coraza, hasta llegar a la ruptura de ésta, apareciendo nuevamente su granulometría original con sus respectivas condiciones de transporte.

Un concepto práctico del acorazamiento es que estas partículas gruesas actúan como material protector contra la erosión en el lecho.

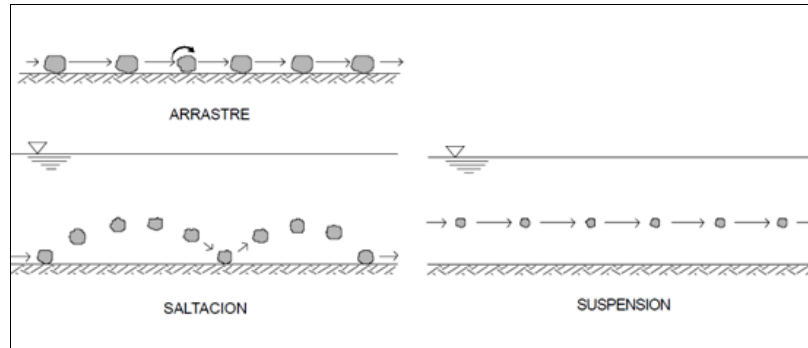
La teoría de (Shields, 1936) explica que existe una movilidad igualada entre las partículas gruesas y finas, es decir, que las partículas gruesas utilizan una tensión menor de la que utilizaría normalmente con partículas del mismo tamaño, puesto que se adelantan al movimiento, mientras que las partículas finas se retrasarían con respecto a su desplazamiento normal.

Algo que es muy importante conocer es que este acorazamiento influye mucho en el principio del movimiento del lecho ya que es necesario destruir la coraza para luego transportar los materiales finos que están debajo. Este acorazamiento puede ser un freno para el movimiento de materiales que producen la erosión del lecho.

2.2.1.5 Clasificación del transporte de sedimentos.

Pueden ser según el modo de transporte (suspensión, rodando (arrastre), deslizándose, saltando, en la turbulencia del flujo o por el fondo) y el tipo del material.

Figura 2.33 : Modos de arrastre, (ROCHA, 1998)



Fuente: (Rocha Felices, 1998)

Estos tipos de movimiento dependen del caudal del río, si este es bajo, solo habrá un deslizamiento en el fondo o posibles saltos pero si el río crece puede llegar a haber suspensión e incluso puede transportar material de mayor tamaño.

"Así como el material transportado puede empezar desde cualquier parte del lecho, también lo pueden hacer desde la cuenca, cuando exista un exceso de lluvia y por tanto crecida del caudal, transportando material fino en suspensión, que en general representa el 90% o más de todo el transporte sólido del río." (Vide, 2003)

El tipo de este material depende de las características hidrológicas de la cuenca: la litología, los suelos, las pendientes, la vegetación, la precipitación, la escorrentía, etc.

2.2.1.6 Caudal sólido.

Es el material que contiene diferentes tamaños, como arcillas, limos, grava, siendo así la masa que es transportada por el flujo del río como producto de la erosión, el caudal sólido se expresa en unidades de volumen y también como peso.

Volumen Neto.- Es la definición exacta del caudal sólido y tiene la virtud de prestarse en una relación porcentual con el caudal líquido.

Volumen en Bruto.- Este volumen incluye los huecos, de donde el volumen bruto se calcula como:

$$V_b = \frac{1}{1 - V_n}$$

donde:

$$V_n = 0.25 + 0.14 \cdot d_{50}^{-0.2}$$

V_b : volumen bruto en m^3 .

V_n : volumen neto en m^3 .

d_{50} : diámetro que deja pasar el 50% de las partículas en mm.

Como se observa ecuación está en función de la granulometría del material del lecho del río y tiene la característica de igual o equiparable con los volúmenes de erosión o sedimentación en el fondo de un río.

Peso Seco.- La relación con el volumen neto es el peso específico del material del lecho, que es igual a 2650 kg/m^3 .

Peso Sumergido.- La relación con el volumen neto es el peso específico sumergido, igual a 1650 kp/m^3 .

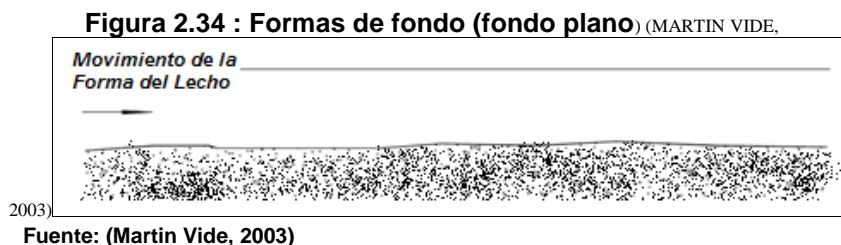
2.2.1.7 Formas de Fondo.

El lecho de un río después de haber iniciado el movimiento y luego de haber aumentado la velocidad puede presentarse de varias formas: *arrugas* (rizos), *dunas*, *lecho plano* y *antidunas*, y son de importancia puesto que de esto depende el transporte de sedimentos y la rugosidad.

Es necesario recalcar que estas formas de fondo se presentan en ríos que poseen lechos de arena ya que rara vez lo hacen en lechos de grava.

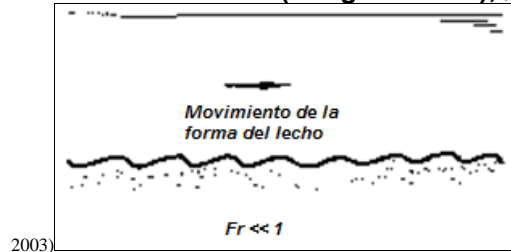
“Los parámetros predominantes que afectan la forma del lecho son la pendiente del lecho, la profundidad y velocidad de flujo, el tamaño del sedimento y la velocidad del asentamiento de la partícula. A bajas velocidades el lecho no se mueve. A medida que se incrementa las velocidades, se logra el arranque del movimiento del lecho y el sedimento de éste empieza a moverse.” (Chanson, 2002).

Los *fondos planos*, ver Figura 2.34, se dan en una etapa inicial que corresponde a una velocidad pequeña. Se observa movimientos aislados e intermitentes de las partículas más gruesas constituyentes del fondo; las más pequeñas entran eventualmente en suspensión.



Las *arrugas* (rizos) de la Figura 2.35 son ondulaciones pequeñas que aparecen solo en arena fina indicando que su movimiento no es turbulento, con una alturas menores que 0.1 m y de onda máxima del orden de decímetros.

Figura 2.35: Formas de fondo (arrugas o rizos), (MARTIN VIDE,

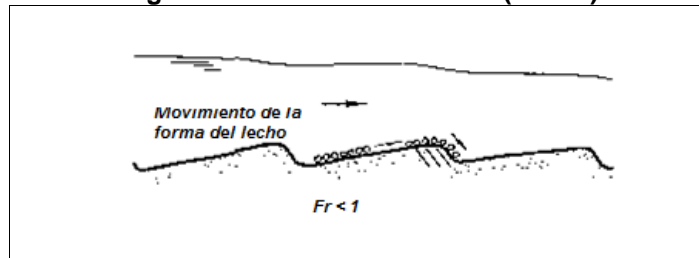


Fuente: (Martin Vide, 2003)

Las *dunas* tienen una magnitud mayor al de las arrugas, ver Figura 2.36, y presentan descenso sobre las crestas y ascenso sobre el valle, indicando un régimen hidráulico lento.

El movimiento de las dunas son el resultado del arrastre de las partículas sobre un lecho de pendiente suave para quedar atrapadas en las crestas hasta que la velocidad del cauce aumente, puesto que ocurre un efecto de barrido, quedando el lecho plano.

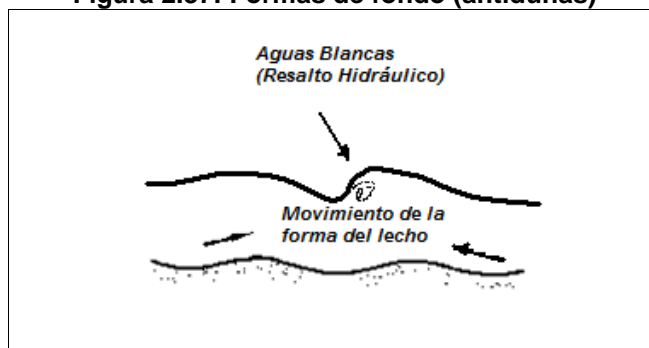
Figura 2.36: Formas de fondo (dunas)



Fuente: (Martin Vide, 2003)

Las *antidunas* se producen cuando el lecho se ondula en formas simétricas, al aumentar la velocidad. La superficie libre presenta una fuerte ondulación en consonancia con el fondo indicando en un régimen hidráulico rápido.

Figura 2.37: Formas de fondo (antidunas)

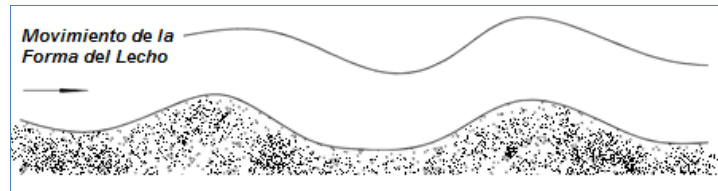


Fuente: (Martin Vide, 2003)

Los *rápidos* es la evolución del régimen hidráulico rápido, con presencia de espumas en la parte superior, hasta romper como olas formando los resaltos hidráulicos, ver Figura 2.38. En cambio en el fondo se transforma en una sucesión

de pendientes suaves pero largas y contrapendientes cortas que cierran unos cuencos o pozos.

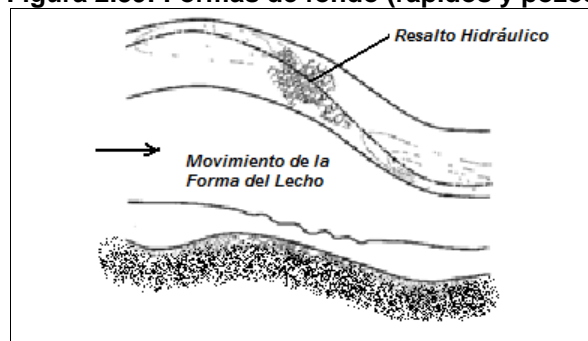
Figura 2.38: Formas de fondo (rápidos)



Fuente: (Martin Vide, 2003)

Cabe recalcar que estas formas solo están relacionadas con las características hidráulicas y no con las morfológicas o geométricas como la anchura la curvatura etc. Esta última forma tiene relación con las dos, ver Figura 2.39, puesto que los pozos corresponden a los lugares de más curvatura, y los rápidos corresponden a los tramos rectos.

Figura 2.39: Formas de fondo (rápidos y pozos)



Fuente: (Martin Vide, 2003)

Hay que recordar que tanto los rizos como las dunas se observan en arenas movidas por el viento y en flujo en canales abiertos.

En ríos aluviales, las dunas se forman solo en condiciones de flujo subcrítico. Las antidunas se asocian con flujos supercríticos, mientras que las ondas estacionarias son características de condiciones de flujo cercanas a la condición crítica.

2.2.1.8 Transito de avenidas. (Proceso de propagación)

Conceptos

Es un fenómeno natural de la crecida de un río y el transito se refiere al modo en que la avenida viaja aguas abajo.

También es una forma de describir el movimiento del agua de un punto a otro a lo largo de un río.

Este tránsito de avenidas se utiliza principalmente para predecir los niveles de máxima crecida, volumen de agua y el desarrollo temporal del flujo. Es necesario predecir estos aspectos para saber si las alcantarillas y los aliviaderos son adecuados y lo más importante, saber el nivel que alcanzará la crecida en las llanuras de inundación, para esto el tránsito de avenidas emplea la información de escorrentía y las relaciones nivel-caudal para producir un hidrograma de caudal previsto que especifica el caudal en un lugar específico.

Es necesario para su cálculo usar 2 teorías: la física y métodos empíricos.

Existen dos enfoques principales para los métodos de tránsito de avenidas basados en la física: hidrológico e hidráulico.

Los métodos hidrológicos aplican la ecuación de conservación de la masa, pero hacen algunas suposiciones simplificadoras. Estas ecuaciones se pueden resolver manualmente, si resulta necesario.

Los métodos hidráulicos hacen menos suposiciones y aplican las ecuaciones de conservación de la masa y de conservación del momento, pero exigen mucha más información topográfica y de caudal. Debido a que los métodos numéricos empleados son muy complejos, las ecuaciones de cálculo hidráulico de tránsito de avenidas sólo pueden resolverse utilizando software informático.

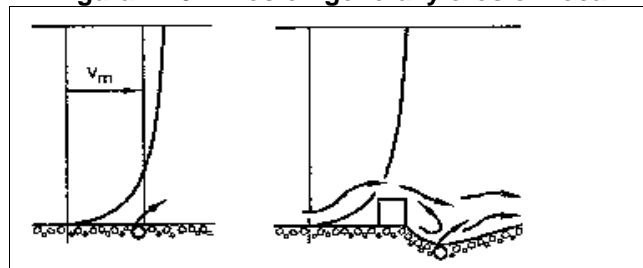
Los métodos empíricos hacen uso de estadísticas basadas en las observaciones realizadas en lugares específicos de un curso fluvial. Por lo tanto, las ecuaciones derivadas proveen información específica acerca de esos lugares que no se puede aplicar fácilmente a otros lugares del río.

2.2.1.9 Conceptos sobre erosión

Es el descenso del fondo como consecuencia de fenómenos naturales o por obras del hombre. La erosión es una respuesta del cauce a la falta de equilibrio entre variables como el caudal sólido por lo que hace difícil predecirla.

La erosión puede ser local y general, ver Figura 2.40, la erosión general está afectada principalmente por velocidades medias del caudal, en tramos largos y cauces rectos, sin ninguna singularidad, en cambio la erosión local está definida por varias velocidades producida por algún obstáculo. Esta última afecta a una pequeña extensión produciendo un flujo local turbulento.

Figura 2.40 : Erosión general y erosión local



Fuente: (Martin Vide, 2003)

La erosión local puede manifestarse como la erosión transitoria y permanente, la cual es producida en el fondo del cauce, ya que en una crecida el nivel del cauce aumenta, existe arrastre de material y aumentan las tensiones del fondo y este desciende hasta que el cauce toma su nivel natural y el fondo vuelve a ascender rellenando el material erosionado.

La erosión permanente es una erosión a largo plazo, ocasionada por un desequilibrio geomorfológico o causada por el hombre, por ejemplo la construcción de una presa que interrumpe completamente el transcurso del agua.

La erosión progresiva o regresiva es aquella que se produce aguas abajo y por causa de un obstáculo esta empieza a cambiar ya sea la pendiente hasta llegar a un equilibrio.

2.2.1.10 Rugosidad del cauce (coeficiente de Manning)

El coeficiente de rugosidad representa la resistencia a al flujo de agua en cauces y llanuras de inundación, seleccionar adecuadamente un valor de "n" significa hacer una buena estimación de la resistencia al flujo en un determinado cauce. Una guía apropiada para la determinación del coeficiente de rugosidad tiene 4 caminos generales, a saber:

- Comprender los factores que afectan, el valor de "n" y así adquirir un conocimiento básico del problema y reducir el ancho campo de suposiciones.
- Consultar un cuadro de valores típicos n para canales de varios tipos
- Examinar y hacerse familiar con la aparición de algunos canales típicos cuyos coeficientes de rugosidad son conocidos.
- Determinar el valor de n a través de un procedimiento analítico basado sobre la distribución teórica de la velocidad en la sección transversal del canal y sobre los datos de medidas de velocidad o rugosidad.

Coeficiente de Manning en ríos

El coeficiente de Manning es uno de los parámetros principales que interviene en la calibración del modelo hidráulico de un canal abierto, esta es la razón por la que se convirtió en un tema de profunda investigación.

Debido a que los canales naturales presentan una morfología muy variada, además de las formas de fondo que se producen en el cauce, resulta difícil cuantificar el efecto de rugosidad. Por lo general se conoce que los efectos de rugosidad en el cauce de un río tienden a disminuir cuando aumenta la profundidad de flujo, pero si los bancos de un río son más rugosos que el fondo del cauce por la presencia de arbustos y árboles, entonces el valor equivalente de la rugosidad crece junto con la profundidad de flujo.

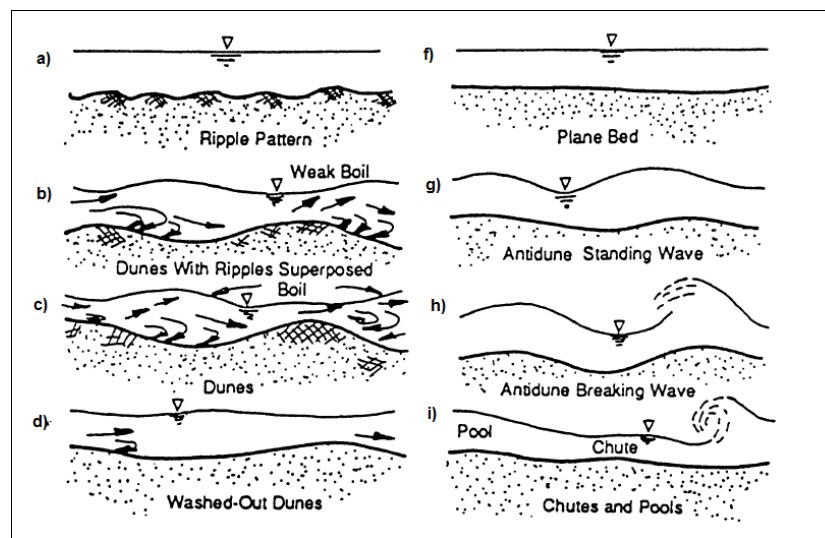
El reacomodo de la geometría de las secciones transversales en un río aluvial es mayor cuando el flujo es alto, es decir cuando la velocidad, la profundidad y el transporte de sedimentos son muy elevados. En los cauces en régimen o equilibrio (cauces que conducen un caudal sin producir erosión ni sedimentación), el cambio

en la morfología (formas de fondo) es pequeño, pero para otros cauces el cambio es muy grande y se manifiesta en los coeficientes de rugosidad, en el caso de los meandros, se dan cambios dinámicos por procesos de erosión en las curvas, procesos de estrangulación que acortan el cauce y terminan redefiniendo el fondo.

, el coeficiente de rugosidad se ve afectado por las siguientes formas de fondo de la:

- Plane bed without sediment movement (Fondo plano sin movimiento de sedimento).
- Ripples (Risos).
- Dunes (Dunas).
- Plane bed with sediment movement (Fondo plano con sedimento en movimiento).
- Anti - dunes (Antidunas).
- Chutes and pools. (Conductos y Pozos).

Figura 2.41: Formas de fondo



Fuente: (U.S. Army Corps of Engineers, 2008)

Un aspecto interesante para analizar, son las secciones típicas que se dan en un meandro, como se estudió en la morfología del cauce, en capítulos anteriores. Se distinguen las secciones pool (pozos), y crossing (cruce). Como se observa en la Figura 2.41: Formas de fondo, en los meandros se producen transiciones, originando flujo supercrítico. La altura del perfil de flujo es función del radio hidráulico, pendiente y la velocidad, por esta razón en las zonas pool, se produce una elevación en la altura de flujo, este comportamiento dificulta la calibración de un modelo. En la Tabla 2.4, se presentan los valores sugeridos para las diferentes formas de fondo.

Tabla 2.4 Coeficiente de Manning y Formas de Fondo

Formas de Fondo	Rango de "n"
Risos (Ripples)	0.018 - 0.030
Dunas (Dunes)	0.020 - 0.035
Alabeo -Dunas menores (Washed Out Dunes)	0.014 - 0.025
Fondo Plano (Plane bed)	0.012 - 0.022
Ondas de Estacionarias (Standing Waves)	0.014 - 0.025
Antidunas (Antidunes)	0.015 - 0.031

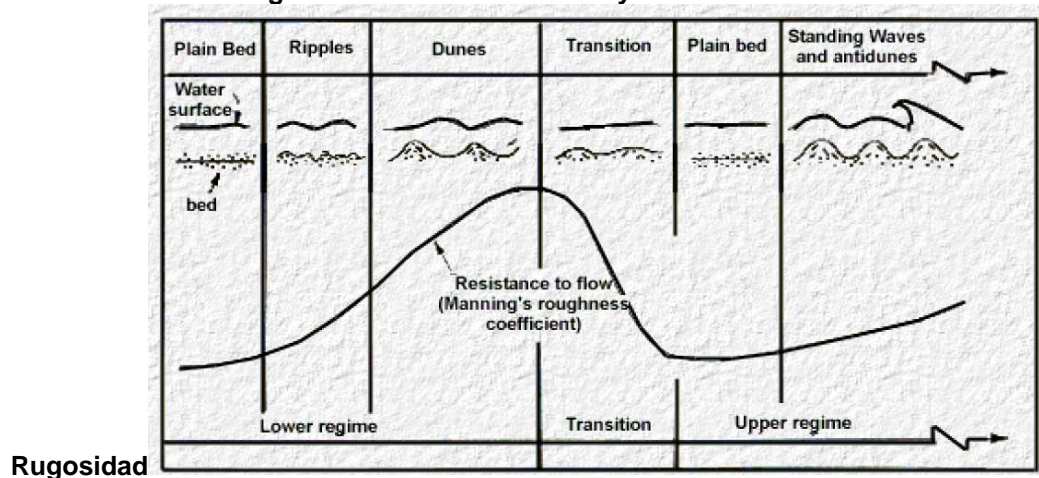
Fuente: (U.S. Army Corps of Engineers, 2008)

Para la determinación de los coeficientes de Manning existen diferentes métodos, entre ellos el más usado es el método de (Ven Te Chow, 1994), donde se define un valor de rugosidad base.

Al valor de rugosidad base se le adicionan los efectos producidos por la morfología del cauce y la vegetación. Una recopilación de los métodos e información disponible para este caso se detalla en el manual del U. S. Geological Survey resultado de las investigaciones realizadas por (Arcement Jr. & Schneider, 2009). El USGS recomienda valores Manning base para canales de arena y canales naturales estables.

De acuerdo con el USGS los canales de arena son aquellos que tienen gran acumulación de arena en el lecho, y los coeficientes de rugosidad tienen gran variación, debido a las formas de fondo que se dan en este tipo de lechos arenosos, ver Figura 2.42. Los valores para este tipo de canales que se recomiendan en la Tabla 2.5. Por otra parte los canales estables son aquellos que están constituidos por un lecho firme de suelo o gravas.

Figura 2.42: Forma de Fondo y Coeficiente de



Fuente: (US Army Corps of Engineers , 2010)

Tabla 2.5: Valores de n_b para canales de arena y canales estables

Material del Lecho	Tamaño Medio del Material del lecho (en mm)	Canal Uniforme Recto ¹	Canal Regular ²
Canales de Arena			
Arena³	0.2	0.012	--
	0.3	0.017	--
	0.4	0.02	--
	0.5	0.022	--
	0.6	0.023	--
	0.8	0.025	--
	1	0.026	--
Canales Estables y Llanuras de Inundación			
Concreto	--	0.012-0.018	0.011
Roca Cortada	--	--	0.025
Suelo Firme	--	0.025-0.032	0.02
Arena Gruesa	1-2.	0.026-0.035	--
Grava Fina	--	--	0.024
Grava	2 - 64.	0.028-0.035	--
Grava Gruesa	--	--	0.026
Canto Rodado	64-256	0.030-0.050	--
Peñasco	>256	0.040-0.070	--
Nota: ¹ Benson & Dalrymple , ² Para materiales indicados; Chow(1959) ³ Solo para regímenes de flujo Alto. Modificado por Aldridge & Garret, 1973.			

Fuente: (Chanson, 2002)

En el libro Hidráulica de canales Abiertos, (CHANSON, 2002) cita la ecuación desarrollada por (STRICKLER,1923) para determinar el coeficiente de Manning para el cauce de un canal natural, mediante el tamaño medio del grano correspondiente al material heterogéneo del lecho del río. En esta expresión se ha desarrollado considerando flujos turbulentos en canales rugosos.

$$n = 0.041 \cdot d_{50}^{1/6} \text{ (STRICKLER, 1923)}$$

n es el coeficiente de Manning

"d₅₀" es el tamaño medio del grano en m.

Luego de determinado el coeficiente de Manning base "nb" se realiza una corrección por el efecto de los siguientes factores:

- "n1" factor de corrección por las irregularidades de la superficie.
- "n2" correcciones por variación en la forma y tamaño de las secciones.
- "n3" corrección por el efecto de las obstrucciones.
- "n4" corrección por la vegetación y las condiciones de flujo.

- “m” valor de corrección por los efectos de los meandros.

El valor resultante del coeficiente de Manning se da mediante la siguiente expresión:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m$$

El USGS también recomienda valores Manning con sus respectivas correcciones para las llanuras de inundación, los valores obedecen a los mismos efectos considerados para el cauce.

El procedimiento consiste en determinar el coeficiente “nb” para las llanuras de inundación y luego realizar una corrección por el efecto de los siguientes factores:

- “n1” factor de corrección por las irregularidades de la superficie.
- “n2” correcciones por variación en la forma y tamaño de las secciones de la llanura.
- “n3” corrección por el efecto de las obstrucciones de la llanura.
- “n4” corrección por la vegetación y las condiciones de flujo de la llanura.
- “m” valor de corrección por los efectos de sinuosidad de la llanura.

Factores de Ajuste para los valores de “n”

Como ya se mencionó el ítem anterior, los valores nb seleccionados en la Tabla 2.6 corresponden a canales rectos, o con secciones transversales con forma uniforme. Las irregularidades del canal, alineamientos, obstrucciones, vegetación y forma meándrica del río, incrementan la rugosidad del mismo.

El valor para “n”, debe ser ajustado en concordancia con los incrementos de rugosidad al valor base nb. Estos ajustes se aplican a canales estables y de arena.

En la Tabla 2.6, modificada por (Aldridge & Garrett, 1973), se muestran rangos de ajustes para factores que afectan la rugosidad del canal, para condiciones predominantes del canal. Cuando se seleccione los valores “n” del canal, se deberá considerar la profundidad de flujo. Si la profundidad de flujo es somera en relación del tamaño de los elementos rugosos, el valor n puede ser grande. El valor n decrece a medida que se incrementa la profundidad, excepto cuando las márgenes del canal sean mucho más rugosas que su lecho, o cuando una capa de vegetación densa cubra el canal en agua no profundas.

Irregularidad (n1)

En los casos en que la relación entre el ancho y la profundidad es pequeña, la rugosidad causada por márgenes escarpadas, puntos proyectados, y árboles y raíces expuestas a lo largo de las márgenes, pueden ser descritos en base a ajustes específicos. Chow (1959) y Benson y Dalrymple (1967) mostraron que las márgenes severamente erosionadas y escarpadas pueden incrementar el valor “n” en más de 0.02. Se puede requerir ajustes mayores para márgenes con mayor irregularidad.

Variación en la Sección Transversal del Canal (n2)

El valor de "n" no está afectado significativamente por los grandes cambios en la forma y tamaño de la sección transversal, si estos son graduales y uniformes. Una gran rugosidad, generalmente está asociada con alternaciones entre secciones transversales grandes y pequeñas, así como meandros muy cerrados, obstáculos, y desplazamientos extremo-a-extremo de canales con bajo nivel de agua.

El grado del efecto que tienen estos cambios en el tamaño del canal, depende primero, del número de alternaciones de las secciones transversales largas y pequeñas, y segundo, de la magnitud de los cambios. Los efectos de estos cambios abruptos, pueden extenderse aguas abajo, incluso por varios cientos de metros

El valor de "n" para un tramo por debajo de una perturbación, puede requerir ajustes. Un incremento máximo de 0.003 en el valor de "n", resultará del aumento de la curvatura del canal encontrado en el canal diseñado, y en los tramos de canales naturales utilizados para el cálculo de las descargas (Benson y Dalrymple. 1967).

Obstrucción (n3)

Obstrucciones tales como troncos, material pétreo grueso, escombros, y pilotes de puentes, disturban el patrón de flujo en un canal, e incrementan la rugosidad.

La cantidad del este incremento depende de: la forma de la obstrucción; el tamaño de la obstrucción en relación con la sección transversal; y del número, distribución y espaciamiento de las obstrucciones.

El efecto que tienen estas obstrucciones en la rugosidad, está en función de la velocidad del flujo. Cuando la velocidad de flujo es elevada, una obstrucción ejerce una esfera de influencia que es mucho mayor a la misma obstrucción, debido a que la obstrucción afecta al patrón de flujo en distancias considerables en cada extremo de ésta.

La esfera de influencia para velocidades presentadas generalmente en canales que poseen pendientes moderadas, es cerca de tres a cinco veces el ancho de la obstrucción.

Algunas obstrucciones pueden crear esferas de influencia sobrepuestas, pudiendo causar disturbios considerables. Chow (1959), asignó valores de ajuste para cuatro niveles de obstrucciones: insignificante, menor, apreciable, y severo.

Vegetación (n4)

La medida en la que la vegetación afecta la rugosidad, depende de la profundidad del flujo, el porcentaje del perímetro mojado que se encuentra cubierto por vegetación, y la alineación de la vegetación, en relación con el flujo.

Las raíces de la vegetación existente que sean paralelas al flujo, pueden tener un efecto menor que las raíces perpendiculares a éste. Los valores de ajuste

mostrados en la Tabla 2.6, se aplican a canales con anchos no muy amplios. En canales anchos que poseen relaciones profundidad-ancho pequeñas, y que carecen de vegetación en el lecho, el efecto de la vegetación en las márgenes es pequeño, y el ajuste máximo es alrededor de 0.005. Si el canal es relativamente estrecho, y tiene márgenes pronunciadas y cubiertas por vegetación densa, el ajuste máximo será alrededor de 0.03.

El valor mayor de ajuste dado en la Tabla 2.6 se aplica únicamente en lugares en donde la vegetación cubre la mayor parte del canal.

Grado de Forma Meándrica (m)

El grado de forma meándrica, " m ", depende de la relación entre la longitud total de un canal Meándrico en el tramo a ser considerado, y la longitud recta del tramo del canal. La forma meándrica de un río es considerada "menor", si esta relación varía entre 1.0 y 1.2, "apreciable" si varía entre 1.2 y 1.5, y "severa" si la relación supera 1.5.

Según (Arcement Jr. & Schneider, 2009), los meandros pueden incrementar los valores de " n " por más de un 30%, en donde el flujo se encuentra limitado dentro de un canal. En la tabla Tabla 2.6 se presenta valores de m para diferentes condiciones que presenta el cauce meándrico.

Tabla 2.6: Valores de ajuste para Factores que afectan la Rugosidad de un Canal.

Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^1	Ejemplo
Grado de Irregularidad (n_1)		
Suave	0	Comparado con el canal más suave existente para un material de lecho estándar.
Menor	0.001-0.005	Comparado con canales cuidadosamente degradados, en buenas condiciones, pero que presentan erosiones tenues o pendientes laterales erosionadas.
Moderado	0.006-0.010	Comparado con canales degradados, que poseen rugosidad de fondo moderada a considerable, y moderadamente erosionado, o pendientes laterales erosionadas en roca.
Severa	0.011-0.020	Severamente erosionada, o con márgenes escalpadas; canales altamente erosionados; sin forma, accidentado, y canales con superficie irregular.

Variaciones de la sección transversal del canal (n_2)		
Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^1	Ejemplo
Gradual	0	El tamaño y forma de la sección transversal del canal cambia gradualmente.
Ocasionalmente Alternado	0.001-0.005	Ocasionalmente se alternan secciones transversales grandes y pequeñas, o el flujo puede variar de lado a lado, ocasionando cambios en la forma de la sección transversal.
Frecuentemente Alternado	0.010-0.015	Frecuentemente se alternan secciones transversales grandes y pequeñas, o el flujo frecuentemente varía de lado a lado ocasionando cambios en la forma de la sección transversal.

Efectos de las Obstrucciones (n_3)		
Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^3	Ejemplo
Insignificante	0.000-0.004	Obstrucciones un poco dispersas, en las cuales incluyen depósitos de desechos, troncos, raíces expuestas, madera, o cantos rodados, que ocupen un área menor al 5 % de la sección transversal.
Menor	0.040-0.050	Las obstrucciones ocupan menos del 15 % del área transversal, y el espaciamiento entre las obstrucciones sea tal que la esfera de influencia alrededor de una obstrucción, no se extienda hasta la esfera de influencia de otra obstrucción.
Apreciable	0.020-0.030	Las obstrucciones ocupan entre el 15 y el 50 % del área de la sección transversal, o el espaciamiento entre las obstrucciones es lo suficientemente pequeño como para causar que el efecto de las obstrucciones se incremente, ocasionando atascamientos en una parte equivalente a la sección transversal.
Severa	0.005-0.015	Las obstrucciones ocupan más el 50 % del área de la sección transversal, o el espacio entre las obstrucciones es tan pequeño que cauce turbulencias a lo largo de la mayor parte de la sección.

Cantidad de Vegetación (n_4)		
Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de n^1	Ejemplo
Pequeña	0.002-0.010	Crecimiento denso de césped flexible, hierba creciendo donde la profundidad promedio del flujo es al menos dos veces la altura de la vegetación.
Mediana	0.010-0.025	Césped creciendo donde la altura promedio del flujo es de una a dos veces el tamaño de la vegetación; hierba gruesa moderadamente densa, árboles pequeños creciendo en donde la profundidad promedio del flujo es dos a tres veces la altura de la vegetación; Vegetación moderadamente densa, similar a sauces de entre 1 a 2 años de edad, creciendo a lo largo de las márgenes, y con evidencia de vegetación insignificante en el fondo del canal, en donde los radios hidráulicos exceden 0.61 metros.
Grande	0.025-0.050	Césped creciendo donde la profundidad promedio del flujo igual a la altura de la vegetación; sauces de 8 a 10 años de edad, o plantas de algodón intermedias, con cierta vegetación en donde el radio hidráulico es mayor a 0.61 metros.
Muy Grande	0.050-0.100	Césped creciendo donde la profundidad promedio del flujo es menor a la mitad de la altura de la vegetación; árboles espesos de sauce de alrededor 1 año de edad, creciendo con hierba a lo largo de las pendientes de las márgenes.
(Grado de forma Meándrica m) ^{1 2} m		
Condiciones del Canal	Ajuste del Valor de m	Ejemplo
Menor	1	Relación entre la longitud del canal y la longitud del valle es de 1.0 a 1.2.

Apreciable	1.15	Relación entre la longitud del canal y la longitud del valle es de 1.5.
Severa	1.3	Relación entre la longitud del canal y la longitud del valle es mayor a 1.5.
¹ Ajustes para el grado de irregularidad, variación en la sección transversal, efecto de las obstrucciones, y vegetación, son añadidos al valor base n (Tabla II.3), antes de ser multiplicado por el ajuste de factor meándrico.		
² Valores de ajuste aplicados a flujos confinados en canales, y no aplicables donde los flujos valle abajo cruzan meandros.		

2.3 DESCRIPCION GENERAL DEL MODELO HEC GEO RAS

2.3.1 VENTAJAS Y LIMITACIONES

El modelo HEC GeoRAS permite distinguir de mejor manera los quiebres del terreno, es decir, bancos, la dirección preferencial del flujo, y de esta manera poder realizar un mejor trazado de secciones transversales ya que la zona del proyecto está georeferenciada.

Permite extraer la geometría del terreno junto con su información geográfica, de tal forma que no se necesita un proceso posterior en el modelo HEC-RAS

Puesto que los datos topográficos tomados en campo, no siempre son perpendiculares al cauce, el HEC GeoRAS junto en el modelo digital del terreno, permite realizar secciones transversales perpendiculares al flujo y en intervalos según sean las necesidades en el cálculo.

Además permite obtener mayor densidad de datos geométricos a partir del modelo digital del terreno, en menor tiempo, garantizando una transición de la misma, haciendo innecesaria la posterior interpolación en HECRAS que comúnmente se realiza.

2.3.2 INFORMACION BASE

Para la búsqueda de la información básica que se requiere para iniciar el estudio hidrológico de los ríos Cañar y Bulubulu, se realizó la recopilación en las entidades involucradas en el proyecto como el PROMAS U. de Cuenca, 2010 proporcionando información topográfica 1:100, información climatológica, hidrológica y fisiográfica, como también los diferentes usos del suelo, se realizó también una investigación bibliografía y se contó con Manuales básicos de aprendizaje de los programas a usar en el proyecto (HEC RAS, HEC GEO RAS). Mediante esta investigación se hizo un inventario que incluye los siguientes aspectos:

❖ Información Topográfica

Esta información, consistió en la franja topográfica realizada de un levantamiento de secciones transversales a lo largo de los ríos Bulubulu, Cañar y sus afluentes con una longitud total aproximada de 70 Kilómetros.

❖ Hidrometeorología

Este tipo de datos comprende información climatológica e hidrológica. La información climatológica incluye registros de precipitación, temperatura, humedad atmosférica, nubosidad, evaporación y viento en las cuencas de estudio.

La información hidrológica comprende los registros de los caudales sólidos y líquidos en tramos seleccionados de las corrientes de drenaje. Estos caudales constituyen la información más valiosa para la ejecución de los estudios hidráulicos. La información hidrológica que se debe recolectar es la siguiente:

- Caudales medios diarios
- Caudales máximos instantáneos
- Registros de aforos sólidos y líquidos

Cabe recalcar que durante las diferentes campañas de muestreo que se realizaron, se incluyeron mediciones de velocidades del flujo del río. Estas mediciones de velocidad servirán para generar caudales instantáneos medios en estos puntos, logrando así obtener datos de flujo para cada una de los puntos de muestreo analizados.

❖ Uso y tipo de Suelo

Se procederá a realizar un análisis del uso actual del suelo, así como de las proyecciones de desarrollo futuro. Dentro de este aspecto se incluyen las clasificaciones de los suelos y la determinación de áreas potencialmente erosionables.

❖ Manuales básicos

El HEC - Geo RAS es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno de los sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con el HEC RAS, trabajando como una extensión de ArcView, desarrollada conjuntamente por el *Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI)*.

El HEC-GeoRAS crea un archivo para importar a HEC-RAS datos geométricos del terreno, incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc. Posteriormente los resultados de calados y velocidades se exportan desde HEC-RAS a ArcView y pueden ser procesados para obtener mapas de inundación y riesgo.

Para la modelación en el HEC GeoRAS es necesario trabajar en base a un *Modelo Digital del Terreno (MDT)*, en formato digital TIN (*Trianguled Irregular*

Network). Lo más detallado posible. Este modelo puede generarse con ArcMap y su extensión 3d Analyst a partir de un fichero de CAD de curvas de nivel. De este TIN se extraerán los datos geométricos de las secciones transversales.

Es necesario que antes de empezar a formular este TIN a partir del fichero CAD de curvas de nivel o puntos, revisar que cada registro contenga un atributo que indique su cota.

2.4 CARACTERIZACION DE LAS CUENCAS DE ESTUDIO

En este capítulo se ha hecho referencia a las principales características de las cuencas de estudio. Los datos que permiten caracterizar una Cuenca son: la longitud, el área, la altitud, la precipitación, la nubosidad, la presión, la vegetación. Todos los parámetros mencionados influyen en el régimen hidrológico y el clima de la Zona.

De acuerdo con el informe hidrológico y climatológico, el Promas U de Cuenca indica que el área de estudio se localiza dentro de la zona baja de las cuencas de los ríos Cañar, Bulubulu y Naranjal con una extensión de 150,000 Ha, involucrando a las provincias del Guayas y Cañar. El proyecto ha considerado un área directa de influencia de 95,000 Ha, en la cual se desarrollarán los procesos de construcción y operación del proyecto.

2.4.1 CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS Y CLIMATICAS GENERALES

En la información geográfica elaborada por el PROMAS U. de Cuenca, las subcuencas de los ríos Bulubulu y Cañar cubren áreas de 196183, 241183 Ha respectivamente con alturas máximas cercanas a los 4000 m.s.n.m. y con las estaciones de medición localizadas a 40 m.s.n.m. para el río Bulubulu como se indica en la Tabla 2.7 . La población beneficiada que se ubica en la parte baja de estas cuencas corresponde a los cantones de La Troncal, El Triunfo, con un total aproximado de 150000 habitantes.

Las cuencas hidrográficas de interés que ha determinado el PROMAS U. de Cuenca, con el fin de obtener parámetros de diseño de las diferentes estructuras hidráulicas dentro del área de estudio para el río Cañar tienen cotas mínimas que varían ente los 20 y 40 m.s.n.m. y cotas máximas que varían entre 3000 y 4200 m.s.n.m. cubriendo una superficie total de 5220 Km² o 522000ha.

Tabla 2.7: Características de las estaciones Hidrométrica

Nombre	altura (m s. n. m.)	Tipo Estación
Bulubulu	40	Hidrométrica
Cañar	35	Hidrométrica

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Las características climáticas de la zona de estudio, obedecen a diferentes parámetros que se tienen que considerar, con el fin de cuantificar su recurso hídrico. Con este objetivo el PROMAS U. de Cuenca manifiesta que “los parámetros de humedad relativa, temperaturas, nubosidad entre otros brindan las facilidades para el cálculo” de dicho recurso, entonces se ha utilizado el método de Penman-Monteith para obtener el valor de la evapotranspiración de referencia ETo, que junto con las precipitaciones permite conocer la influencia del clima de la zona.

En las cuencas de estudio, el PROMAS U. de Cuenca y en el marco del proyecto de control de inundaciones Bulubulu Cañar, se determinó valores para los parámetros indicados anteriormente mediante el análisis estadístico de la información proveniente del INAMHI.

Tabla 2.8: Valores Generales en la zona del proyecto.

ESTACION	NUBOSIDAD(%)	HORAS DE SOL (n/N)	HUMEDAD RELATIVA (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO(m/s)	TEMPERATURA °C
CAÑAR	41	0.62	78.5	4.4	11.1
BULUBULU (Ma. J. Calle)	12.4	0.85	84.6	2	24.9

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La Tabla 2.8 presenta valores generales en la zona del proyecto donde la nubosidad media anual registrada en la estación del Cañar es de 41.0% y la mínima media anual se dió en la estación Ma. J. Calle con un valor de 12.40% considerando que el 100% corresponde al cielo completamente cubierto. Las horas de sol reales(n) sobre las horas potenciales de sol (N) dependiendo de ubicación geográfica y la época del año varían entre 0.62 en Cañar y 0.85 en Ma. J. calle. La humedad relativa, se expresa en porcentaje, un valor medio anual registrado para el río Bulubulu en la estación Ma. J. calle de 84.6%. y para el río Cañar de 78.5%. La velocidad del viento media mensual para el Cañar es de 4.4 m/s y para el Bulubulu es de 2.0 m/s., registrado en los meses de verano. La temperaturas en las zonas bajas están alrededor de los 24.9 grados centígrados, y en las zonas altas están alrededor de los 11.1 grados centígrados, estos valores corresponden a valores medios mensuales registrados. Después de que se realizaron los respectivos cálculos, se determinó una evapotranspiración media de referencia ETo de 4.48mm/día.

2.4.2 CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

Para conocer las características Hidrológicas de las Cuencas de estudio, por lo general se necesita de información proveniente de las estaciones hidrométricas e información perteneciente a instituciones que se encargan de monitorear diferentes zonas de una cuenca de interés.

De acuerdo con el PROMAS Universidad de Cuenca, se dispone con datos de las estaciones hidrométricas Bulubulu AJ Payo, Cañar DJ Raura, Cañar Puerto Inca con resolución diaria. Posteriormente se realizó el análisis de calidad de la información y la obtención de datos faltantes en los registros mediante el uso de las curvas de descarga pertenecientes al INAMHI con un determinado periodo de validez.

Para los puntos de interés del proyecto de Control de Inundaciones, se obtuvieron caudales medios calculados con el área de aporte y las precipitaciones de la zona, por otra parte, con los datos de las estaciones hidrométricas se obtuvieron caudales medios mensuales que alcanzan puntos máximos entre los meses de marzo y abril. Los caudales medios anuales máximos en la zona se registran en los años 1972, 1975 y 1982-1983 correspondientes a años del Fenómeno El Niño.

Con respecto a los caudales específicos de las estaciones de registro, estos se obtienen de dividir el caudal medio diario para el área de aporte de esa estación. El mayor valor de caudal específico es de 27.9 l/s/Km^2 y corresponde a la estación Bulubulu AJ Payo, con área de 686 Km^2 . En lo que se refiere a las curvas de duración de caudales, para las estaciones mencionadas la variación de las pendientes en los tramos no es muy notoria, a excepción del intervalo entre 0% y 5% de garantía, el PROMAS U. de Cuenca verifica que "las curvas de duración tienen estas formas típicas en los ríos de llanura"

Con respecto a los caudales máximos instantáneos correspondientes a un determinado periodo de retorno, el análisis estadístico pierde valor debido a que la serie de datos fue poco representativa, y en lugar de este método se usó el modelo hidrológico HEC HMS.

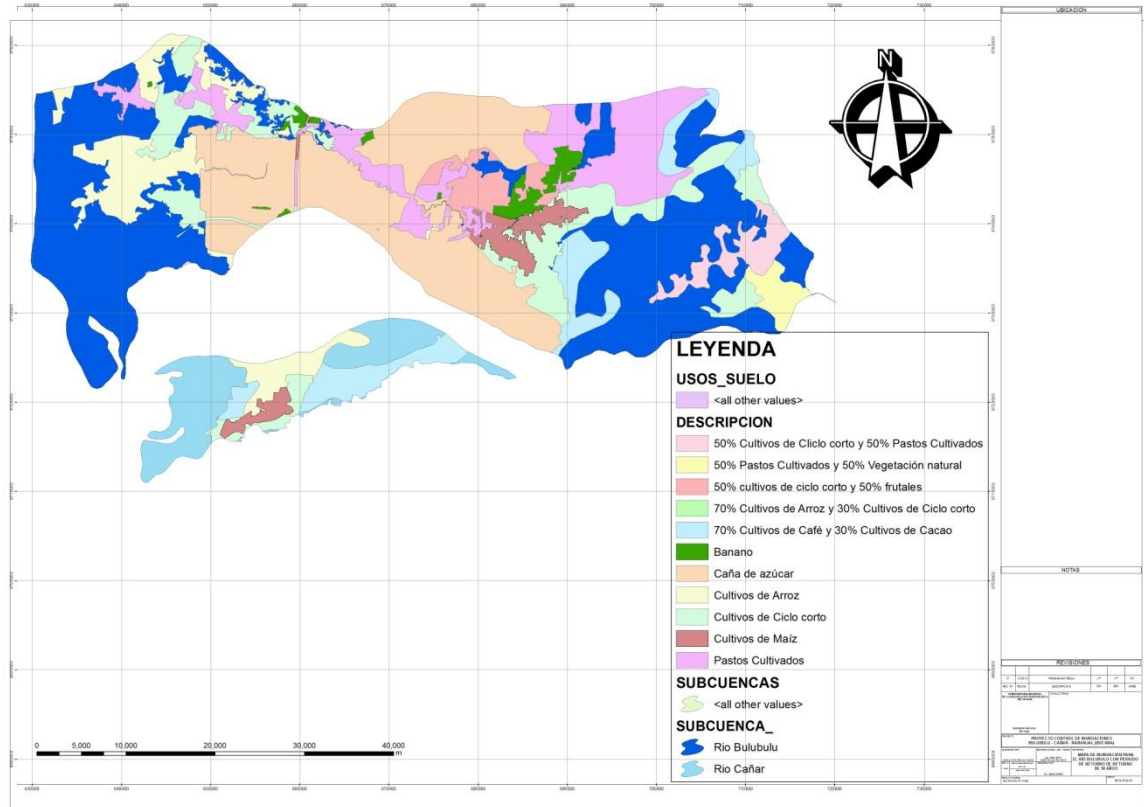
Tabla 2.9: Caudales máximos instantáneos en los puntos de interés

CAUDALES MAXIMOS INSTANTANEOS EN LOS PUNTOS DE INTERES PARA UN PERIODO DE 50 AÑOS DE RETORNO		
PUNTOS DE INTERES	Hidrograma Unitario SCS (m ³ /s)	Hidrograma Unitario Clark (m ³ /s)
Ma. J. CALLE	1139.8	1256.5
PTO. INCA	2604.9	2346.9

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

2.4.3 USOS DEL SUELO

Figura 2.43: Usos del Suelo



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Fuente: IGM, Datum WGS84

La Figura 2.43 muestra gráficamente los usos de suelo que constituyen el área de las distintas cuencas de estudio (Cañar y Bulubulu). De una mejor manera se clasifica en la Tabla 2.10, donde se presenta un listado de los tipos de suelo juntamente con el área que cada uno de estos posee, y el porcentaje que representan.

Tabla 2.10: Usos del suelo

DESCRIPCION	AREA		
	m2	Ha	%
70% Cultivos de Arroz y 30% Cultivos de Ciclo corto	435	0.04	3.2E-05
50% Cultivos de Ciclo corto y 50% Pastos Cultivados	46318713	4631.87	3.4

50% Pastos Cultivados y 50% Vegetación natural	26319489	2631.95	1.9
70% Cultivos de Café y 30% Cultivos de Cacao	124512085	12451.21	9.1
50% Cultivos de ciclo corto y 50% frutales	48034664	4803.47	3.5
Banano	31908055	3190.81	2.3
Caña de Azucar	457264160	45726.42	33.3
Cultivos de Arroz	154491036	15449.10	11.3
Cultivos Ciclo Corto	215594128	21559.41	15.7
Cultivos de Maíz	52735661	5273.57	3.8
Pastos Cultivados	214854682	21485.47	15.7

Fuente: IGM, Datum WGS84

2.5 COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LOS RIOS

En el área del estudio del proyecto por lo general corresponde a los depósitos cuaternarios modernos los cuales dan origen a los ríos aluviales preferentemente en la costa, el presente estudio está enfocado en este tipo de ríos.

De acuerdo con (CHANSON, 2002) en la mayor parte de los casos los flujos en los ríos se comportan como flujos permanente, salvo en el caso en el que se presente tránsito de avenidas; por lo que se considera suficiente el conocimiento de la velocidad media.

2.5.1 Perfiles de velocidades en corrientes aluviales

Por lo general el flujo presente en los ríos es un flujo turbulento dando lugar a tres regiones de interés:

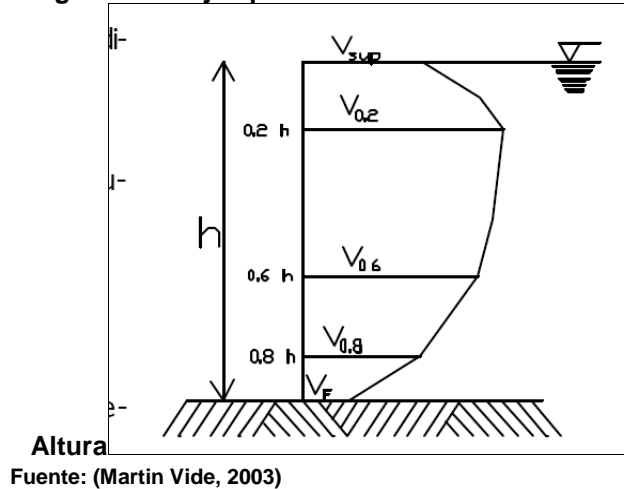
- La región de pared interna o subcapa viscosa predominando el esfuerzo viscoso.
- La región intermedia que es una zona de Turbulencia o de traslapo.
- La región exterior donde predomina el esfuerzo turbulento.

En ríos aluviales el perfil de velocidad se encuentra muy desarrollado, es por eso que el efecto de rugosidad del lecho es importante ya que afecta al perfil de velocidades y esfuerzo cortante del fondo, haciendo desaparecer la región interna o viscosa para rugosidades grandes, dando origen a un flujo turbulento rugoso.

Las velocidades medias de flujo se obtienen mediante aforos en los ríos realizados conjuntamente con la medición de los sedimentos.

La curva de velocidades vs altura en una sección tiende a ser la siguiente:

Figura 2.44 Ejemplo de una curva Velocidad vs.



Como se puede ver en la Figura 2.44 siempre la velocidad superficial será mayor que la velocidad en el fondo del río en estudio, lo mismo se puede decir para la velocidad situada a un 20% de la superficie respecto a la situada a un 80% de la misma.

2.6 IMPORTANCIA DEL MANEJO DEL HEC GeoRAS.

La nueva versión del HEC GeoRAS introduce nuevas capacidades para visualizar resultados de velocidades, esfuerzos de corte, resultados de flujo, y otros datos exportados desde la versión de HEC RAS 4.0 en adelante. También tiene nuevas herramientas para presentar archivos en formato .kmz el cual es legible por los usuarios KML (Google Earth, Microsoft Virtual Earth, ESRI, Earth Explorer y otros). Finalmente permite realizar imágenes de resultados de flujo.

HEC-GeoRAS crea un archivo para importar a HEC-RAS datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río, secciones transversales, bancos, sobrepasos, información sobre estructuras hidráulicas, como puentes, etc., los mismos que sirven para la simulación en el HECRAS. Posteriormente se calibra el modelo en función a los hidrogramas y curvas de descarga de los ríos proporcionados por PROMAS U de Cuenca y finalmente los resultados obtenidos de calados y velocidades se exportan desde HEC-RAS a ArcGIS y pueden ser procesados para obtener mapas de inundación y zonas de riesgo.

HEC-GeoRAS 3.1 está diseñado para utilizarse con la versión 3.2 de ArcView GIS o superior, el cual debe incorporar la extensión 3D Analyst 1.0. Aunque no es estrictamente necesaria, la extensión Spatial Analyst hace más rápidas las operaciones de post-proceso de datos.

CAPITULO 3. METODOLOGIA DE TRABAJO

3.1 GENERALIDADES

Para el empleo de las herramientas del ArcGIS, en la creación del modelo digital del terreno HEC GeoRAS, es necesario contar con un buen control de calidad de la cartografía del lugar (curvas de nivel), puesto que el ingreso de datos poco representativos no es garantía de que los resultados sean satisfactorios y en ocasiones dificulta el post proceso de los mismos.

Junto con la geometría del terreno es necesario incluir la ubicación de estructuras como: puentes, muros y demás obstrucciones con la finalidad de minorar el trabajo en HECRAS.

Dentro de la cartografía también es recomendable incluir fotografías aéreas, ya que estas brindan información acerca de la cobertura vegetal de la zona, este tipo de información se puede correlacionar con los coeficientes de rugosidad de Manning.

3.2 RECOPIACION DE INFORMACION EXISTENTE.

La información utilizada para el presente estudio comprende principalmente de información geográfica, hidrológica e hidráulica del área del proyecto.

Dentro de la información geográfica para el desarrollo del modelo es necesario contar con los siguientes datos:

Información geográfica.- Esta información corresponde a la cartografía a detalle del área del proyecto, dentro de estos se encuentran los levantamientos topográficos, fotografías aéreas. También se pueden requerir de datos demográficos.

Dentro de la información hidrológica necesario conocer niveles en puntos de interés, estos valores están reflejados en las curvas de descarga como producto de los aforos líquidos realizados o hidrogramas en una sección determinada como producto de las precipitaciones esperadas en la cuenca del proyecto. A diferencia de las curvas de descarga que representan relación de calado y caudal constante para una sección, los hidrogramas y los caudales para diferentes periodos de retorno reflejan el tránsito de caudales.

Dentro de los datos hidráulicos se encuentran principalmente los parámetros hidráulicos tentativos como producto de la geometría del cauce, entre ellos están los coeficientes de contracción y expansión de las secciones, zonas de transición cercanas a las estructuras, pendiente del canal, coeficientes de rugosidad. Por otra parte se tiene la geometría de las estructuras.

3.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Inicialmente es necesario transformar la topografía disponible en formato CAD al formato .shapefile compatible con el sistema de información geográfica. Un aspecto importante a considerar en este punto, es la ubicación geográfica correcta del área del proyecto, que debe ser asignada antes de generar la información geométrica. La ubicación quedará definida entonces por el datum WGS84 y la zona geográfica 17Sur.

En el caso de que los datos ingresados en el sistema de información geográfica no reflejen las condiciones del terreno, es necesario realizar una revisión de los datos crudos del campo con la finalidad de filtrar los posibles errores que inciden el cálculo posterior en HEC RAS. Este es un punto crucial en la generación del modelo digital del terreno y resulta tedioso ya que requiere trabajo manual minucioso.

3.4 MODELACION HEC-GEO-RAS

En el presente acápite se detalla la metodología utilizada para la aplicación de la extensión HEC GeoRAS de GIS. Básicamente se trata de obtener la geometría del

río junto con estructuras y otros detalles necesarios para el posterior cálculo en HEC RAS. De esta forma, la información que se almacena es:

- Nombre del tramo de río (**reach**), con las estaciones correspondientes.
- Líneas de corte de las secciones transversales y líneas de superficie en 3D.
- Bancos del cauce principal (**Banks**), con su respectiva localización alrededor del eje.
- Longitudes de los tramos, del sobrebanco izquierdo, cauce principal y sobrebanco derecho.
- Coeficientes de rugosidad (**n de Manning**).
- Diques (**Levees**) y Elevaciones.
- Áreas inefectivas y obstrucciones de flujo.
- Secciones de puentes, secciones de alcantarillas y perfiles de elevación.
- Estructuras laterales, estructuras en línea y perfiles de elevación.
- Localización de las áreas de almacenamiento (**storage areas**) y las relaciones elevación –volumen.
- Localización de las conexiones entre áreas de almacenamiento y perfiles de elevación.

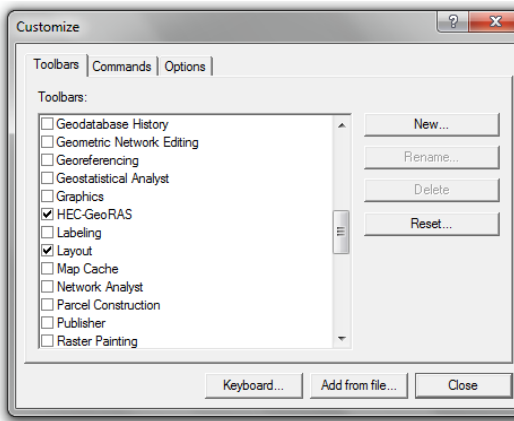
A continuación se presentan los pasos a seguir para la obtención de los datos geométricos necesarios. Para usuarios del GIS, los procedimientos a seguir son familiares.

- Cargar la extensión HEC-GeoRAS
- Iniciar un Nuevo Proyecto
- Crear el TIN (**Triangulated Irregular Network**) a partir de las curvas de nivel.
- Crear cada una de las capas (**RAS Layers**)
- Generar el archivo de importación para HEC-RAS (RAS GIS Import File).
- Realizar el Análisis Hidráulico en HEC-RAS.
- Importar los resultados obtenidos en HEC-RAS (RAS GIS Export File)
- Generar información en GIS a partir de los resultados de HEC-RAS.

❖ Cargar la Extensión HEC-GeoRAS

La extensión HEC-GeoRAS se utiliza como una barra de herramientas dentro de ArcMap, pero es necesario que previamente este habilitada. Adicionalmente también son necesarias las extensiones; 3D Analyst, Spatial Analyst. Para activar estas aplicaciones se ingresa en el menú **Tools | Customize** y se selecciona la opción **HEC-GeoRAS**. (Figura 3.1)

Figura 3.1: Añadir la barra de HEC GeoRAS al



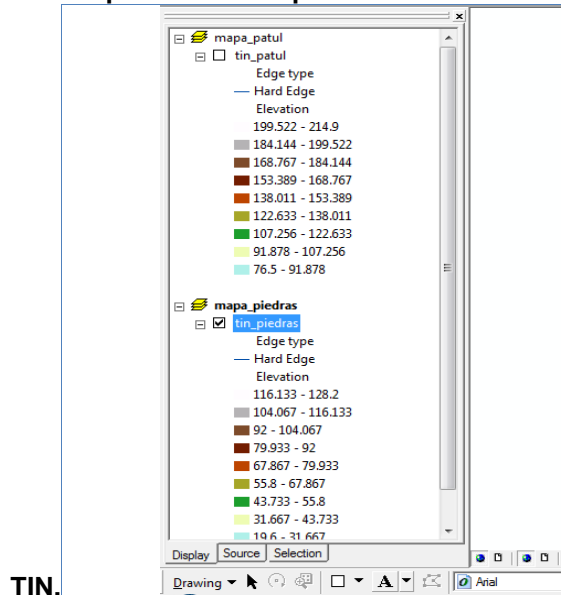
mapa

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

❖ Iniciar un Nuevo Proyecto

Se crea un nuevo documento de ArcMap. Dentro del documento se pueden crear varios mapas correspondientes a los escenarios que se pretenden estudiar (ver Figura 3.2), con el el menú *ApUtilities | Add New Map*. El documento de ArcMap se puede guardar con nombres o códigos con fines prácticos, para su fácil localización dentro de los directorios de correspondiente proyecto.

Figura 3.2: Mapas con su respectivo modelo de elevación

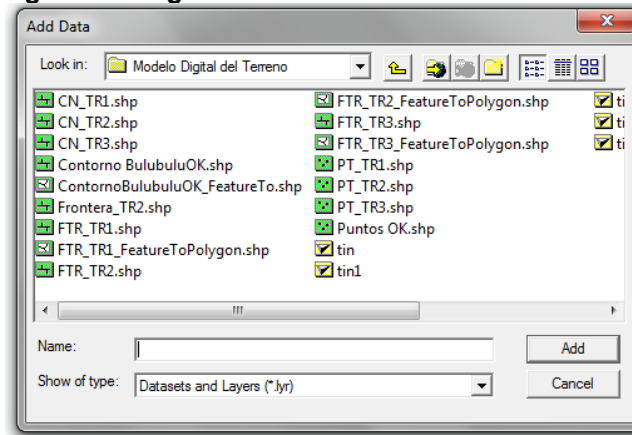


TIN.

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Las capas correspondientes a la información base necesaria (curvas de nivel, polígonos de frontera, puntos del terreno y otros), se cargan desde la barra de herramientas estándar, al seleccionar *Add Layer* (fig). (Ver Figura 3.3)

Figura 3.3: Ingreso de datos con en menú Add



Data.

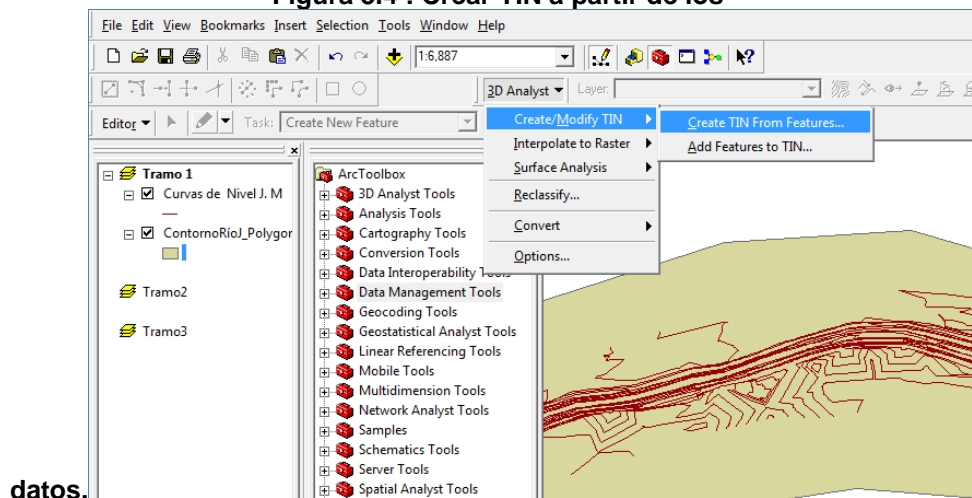
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

❖ Crear el TIN (Triangulated Irregular Network)

El *modelo digital de un terreno* se genera a partir de objetos que tienen como atributo principal su elevación, esto se puede observar al ingresar a la tabla de atributos de estos objetos, que pueden ser: puntos, polilíneas, líneas 3D, y la triangulación importada desde otro programa compatible con ArcGIS.

A partir de la información base descrita, y mediante el uso de la extensión **3D Analyst**, el programa ArcGIS genera una malla triangular entre los puntos más cercanos que definen la geometría del objeto. Con el menú **3D Analyst | Create/Modify TIN | Features to TIN**, generamos la malla triangular que representa el relieve terreno. (Ver Figura 3.4)

Figura 3.4 : Crear TIN a partir de los

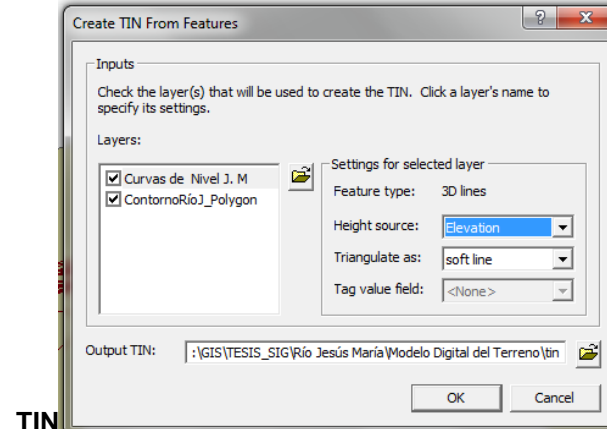


datos.

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Al construir el TIN intervienen básicamente los objetos que definen la elevación como las curvas de nivel, puntos y los que definen la frontera del terreno como son los polígonos.

Figura 3.5 Establecer las condiciones para generar el



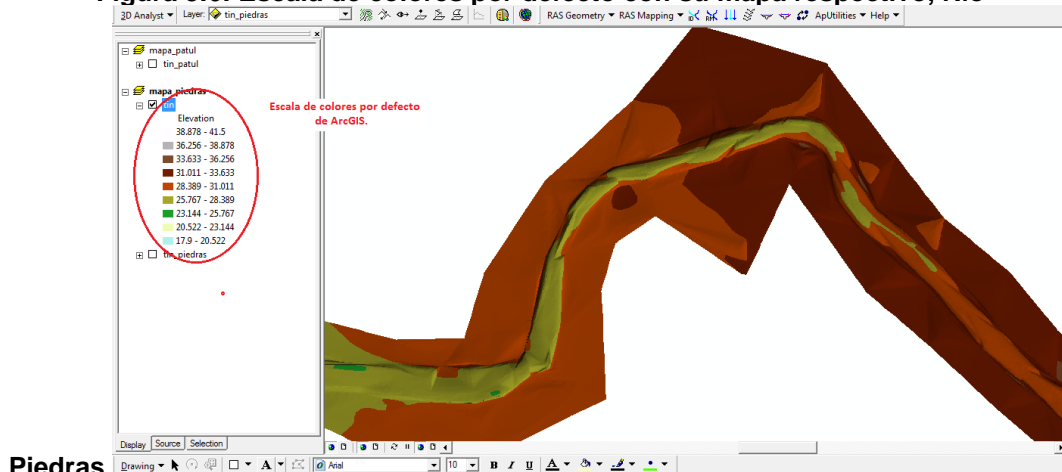
TIN

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Mientras mayor es el valor de la escala de colores del TIN, mejor es la apreciación que se tiene del relieve del terreno. Cada color representa un rango de elevaciones. Para fines prácticos en la Figura 3.6 se indica la configuración por defecto de ArcGIS, pero también se puede realizar una reclasificación de los rangos dentro de las propiedades del TIN (Figura 3.7).

El modelo TIN permite apreciar de mejor manera los accidentes del terreno como pueden ser: quebradas, cauces de ríos y zonas de almacenamiento.

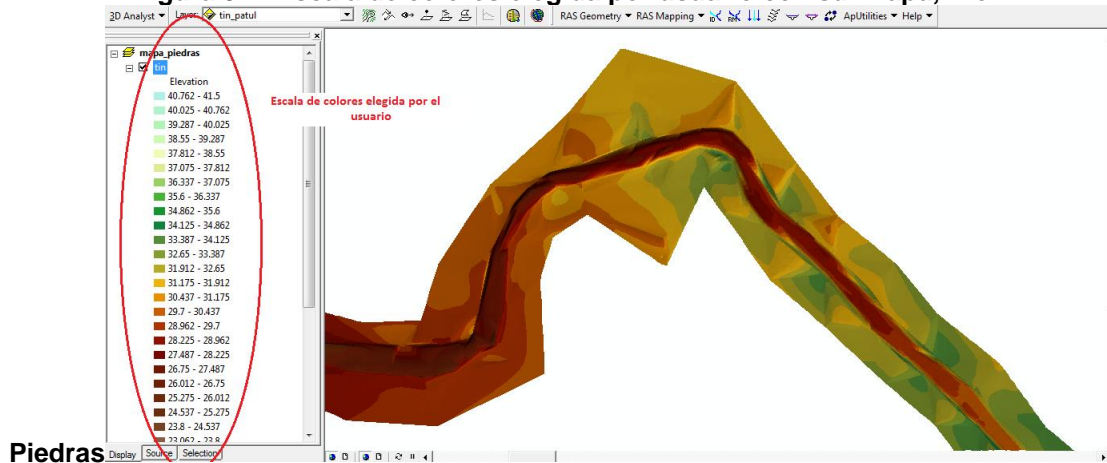
Figura 3.6: Escala de colores por defecto con su mapa respectivo, Río



Piedras.

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 3.7: Escala de colores elegida por usuario con su mapa, Río



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

❖ Crear Curvas de Nivel a Partir del Modelo Digital del Terreno (DTM).

Resulta útil combinar el modelo del terreno DTM (Digital Terrain Model) con las curvas de nivel con el propósito de distinguir mejor los quiebres del terreno, es importante señalar que esta aplicación es opcional. Para generar las curvas de nivel se selecciona la opción **3D Analyst | Surface Analysis | Contour**.

Dentro del cuadro de diálogo se puede definir el modelo digital TIN o RASTER a partir del cual se desean generar las nuevas curvas de nivel con un intervalo cualquiera.

❖ Crear las Capas (RAS Layers) (Ver Figura 3.8)

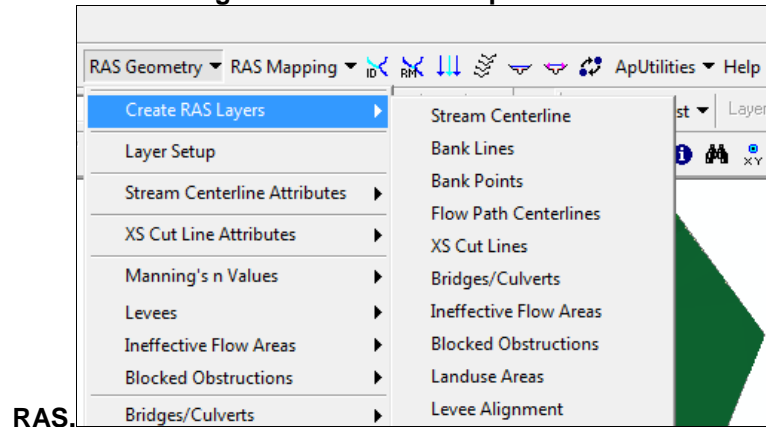
Las capas (**RAS Layers**) son archivos *shape*, que se almacenan dentro de una base de datos **Geodatabase**, la cual también puede contener tablas, por ejemplo: los coeficientes de Manning, luego de ser extraídos se almacenan dentro de la tabla (LU Manning Table).

La geometría básica necesaria para los cálculos posteriores en HES RAS, se define a través de las **RAS Layers**. Estas capas se clasifican como:

- Línea del Cauce (**Stream Centerline**).
- Líneas de Banco (**Bank Lines**).
- Puntos de Banco (**Bank Points**).
- Líneas de centro del sobreflujo (**FlowPath Centerlines**).
- Líneas de Corte de las Secciones Transversales (**XS Cut Lines**).
- Ejes de los Puentes y/o Alcantarillas.
- Áreas Inefectivas.
- Obstrucciones de Bloqueo.

- Líneas de los Diques.
- Estructuras en Línea.
- Estructuras Laterales.
- Áreas de Almacenamiento.

Figura 3.8: Crear las Capas HEC



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

❖ Stream Centerline Layer (Línea del Cauce).

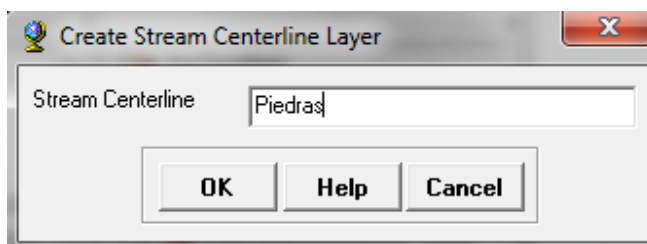
La línea de centro del cauce se crea para definir el eje del canal natural, su trazado se realiza desde aguas arriba hasta aguas abajo siguiendo el lugar geométrico de los puntos de mayor profundidad o *Thalweg*. A cada línea de cauce se le asigna el nombre del río y el nombre del tramo en estudio.

Esta línea es utilizada para realizar el abscisado de las secciones transversales y también para definir la línea del cauce secundario correspondiente al flujo de crecida.

A continuación se presentan algunas recomendaciones para el uso correcto de las líneas del cauce:

- La línea del cauce deberá ser creada desde el extremo aguas arriba (fromnode) hasta el extremo aguas abajo (tonode)
- Cada línea del cauce deberá tener una sola combinación entre el nombre del río y el nombre del tramo respectivo.
- Los tramos de río deben coincidir en un solo nodo.
- Las líneas del Cauce no deben interceptarse, a excepción de los puntos de confluencia donde llegan dos o más ríos.
- Para trazar la línea del cauce, se selecciona RAS Geometry | Create RAS Layer | Stream Centerline. Enseguida se aprecia el cuadro de diálogo donde se define el nombre del río en estudio como se indica en la figura. Por ejemplo, a la línea de cauce del río Piedras se le ha nombrado como "Piedras".

Figura 3.9: Crear Stream Centerline



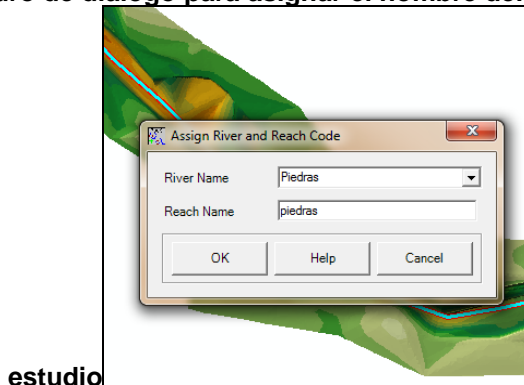
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Al seleccionar **OK** se adiciona de forma automática la capa “Piedras” dentro de la Tabla de Contenidos de ArcMap. Inicialmente este archivo se encuentra vacío, por lo que es necesario realizar la edición del mismo con la extensión **Editor | Start Editing**.

Mediante el uso de la herramienta **sketch tool** se procede a trazar la línea del cauce siguiendo las recomendaciones mencionadas.

Una vez concluido con la edición de la línea del cauce, se procede a identificarla con el nombre del río y el tramo al que pertenece, esto se realiza mediante la herramienta **River ID**, que está localizada dentro de la barra de herramientas HEC GeoRAS. En primera instancia se pide seleccionar el objeto a identificar y seguido de esto aparece el cuadro de diálogo de la Figura 3.10.

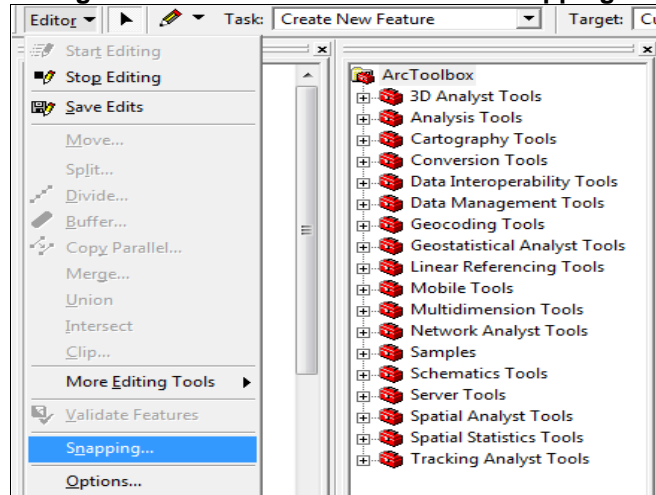
Figura 3.10: Cuadro de dialogo para asignar el nombre del Río y su tramo de



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Cuando se culmina con el trazado de la las líneas del cauce en los tramos pertenecientes a un río, es necesario verificar que dos tramos adyacentes y/o las confluencias tengan un nodo en común. La herramienta **Snapping** permite realizar estos ajustes. Esta herramienta se activa durante el modo de edición en el menú **Editor | Snapping**, seguido de esto aparece una ventana en la cual se selecciona que parte del objeto se quiere rastrear.

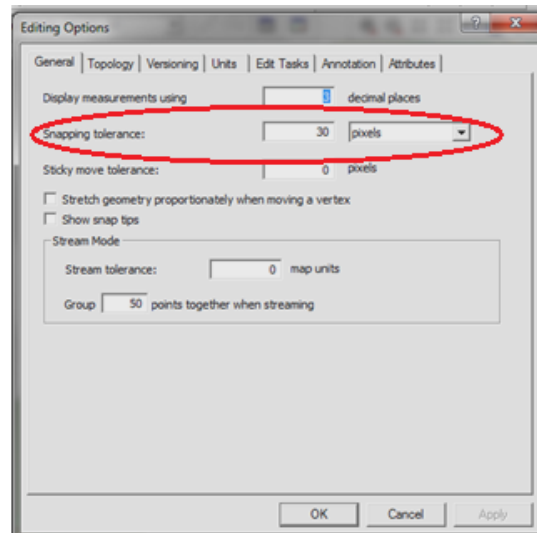
Figura 3.11: Uso de la herramienta Snapping.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Al seleccionar el menú **Editor | Options** aparece un cuadro de diálogo en el cual se introducen los parámetros de rastreo de un objeto como se indica en la Figura 3.12. En ese caso será útil el factor Snapping Tolerance.

Figura 3.12: Opciones de Edición.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

El siguiente paso es obtener los atributos de la línea del cauce ingresando al menú **RAS Geometry | Stream Centerline Attributes**. Estos atributos se conocen como: Topology. Lengths/Stations y Elevations.

- Topology define la conformación espacial de los diferentes tramos de un río, cada extremo (ToNode/ FromNode) recibe un valor entero dentro de la tabla de atributos en el campo ID, este código ID debe coincidir en el caso de dos tramos adyacentes.

- La herramienta Longitudes/Estaciones se utiliza para obtener las longitudes de cada tramo de río, determinar la dirección del flujo y para obtener las abscisas de las secciones transversales. También se calculan los valores de las abscisas para la estación inicial (FromSta) y para la estación final (ToSta).

La estación inicial y final pueden ser sobrescritas, en el caso que se desee iniciar desde otro punto diferente de 0+000 mediante la herramienta **River Mile**

- La herramienta de elevaciones permite convertir la línea del cauce en 2D a una polilínea 3D. Este proceso consiste en extraer las elevaciones del modelo digital del terreno.

La opción All permite extraer todos los atributos anteriores.

Secciones Transversales (XSCulines)

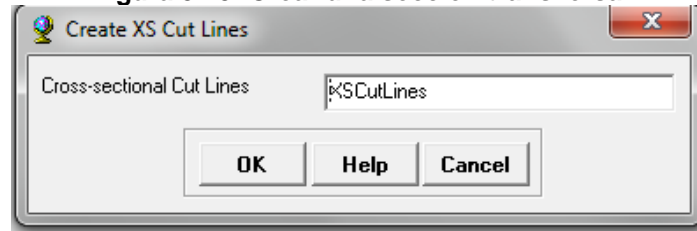
La ubicación geográfica, posición y extensión de las secciones transversales quedan definidas por las líneas de corte transversales. Estas líneas de corte deben ser perpendiculares a la dirección del flujo en el caso que los cálculos se realicen en una dimensión, como se realiza comúnmente con HEC RAS.

Para una correcta generación de las líneas de corte, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Realizar el trazado desde el sobrebanco izquierdo hacia el sobrebanco derecho y avanzando hacia aguas abajo.
- Es necesario que las líneas de corte sean perpendiculares a la dirección del flujo, considerando el rango de todos los eventos de flujo en lo posible.
- Las líneas de corte no deben interceptarse.
- Las líneas de corte deben cruzar las la líneas del cauce (Stream Centerline) solo una vez.
- Las líneas de corte no deben extenderse más allá de los límites del modelo digital del terreno.

Para crear las líneas de corte de las secciones transversales seguir el menú **RAS Geometry | Create RAS Layer | XS Cut Lines**, seguido de esto aparece un cuadro de diálogo en donde es necesario especificar un nombre para el archivo que se creará como se indica en la Figura 3.13, por ejemplo: para el tramo correspondiente al río Piedras se le asigna el nombre por defecto del programa "XS Cut Lines" ya que se trata de un solo tramo, el cual es un tributario del río Cañar


Figura 3.13: Crear una sección transversal



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Luego de crear el archivo, este se añade automáticamente al mapa activo y se lo puede observar dentro de la tabla de contenidos de ArcMap.

Para iniciar el trazado se utiliza la herramienta **Editor | Start Editing**. Dentro de la tarea a realizar (task), seleccionar **Create New Feature** y en el objetivo (target), se selecciona el nombre del archivo que en este caso es *XS CutLines*.


El procedimiento posterior se realiza mediante el uso de la herramienta **sketch tool**  y las opciones de rastreo Snapping.

Una vez creadas las líneas de corte, se procede a extraer los datos del modelo digital del terreno, los cuales dan como producto las secciones transversales que utiliza HEC RAS. La información que se extrae corresponde a: River/ Rich Names, Stationing, Bank Stations, Downstream Rich Lengths, Elevations. Cada uno de estos atributos posee un campo (field) dentro de la tabla de atributos de *XS CutLines*.

River/Rich Names corresponde a la localización de cada sección a lo largo del cauce principal, con el nombre del río y el tramo en el que se encuentra dicha sección.

Con *Stationing* se procede a calcular la abscisa para cada sección transversal como producto de su intersección con la línea del cauce principal (**Stream CenterLine**).

En *Bank Stations*, se calcula las posiciones de banco izquierdo y derecho del cauce principal, en la zona de intersección de la línea de bancos (Bank Lines) y las líneas de corte transversal (**XS CutLines**). Este valor se muestra como un porcentaje de la línea de corte a partir del punto cero. Este atributo es opcional para el trabajo posterior en HEC RAS.

Mediante el uso de la herramienta **XS Plot** de HEC GeoRAS , es posible ver una sección transversal cualquiera con solo seleccionar la línea de corte correspondiente.

Para verificar que los atributos de la sección transversal estén dados correctamente, es posible graficar una sección cualquiera

❖ Líneas de Banco (Bank Lines Layer)

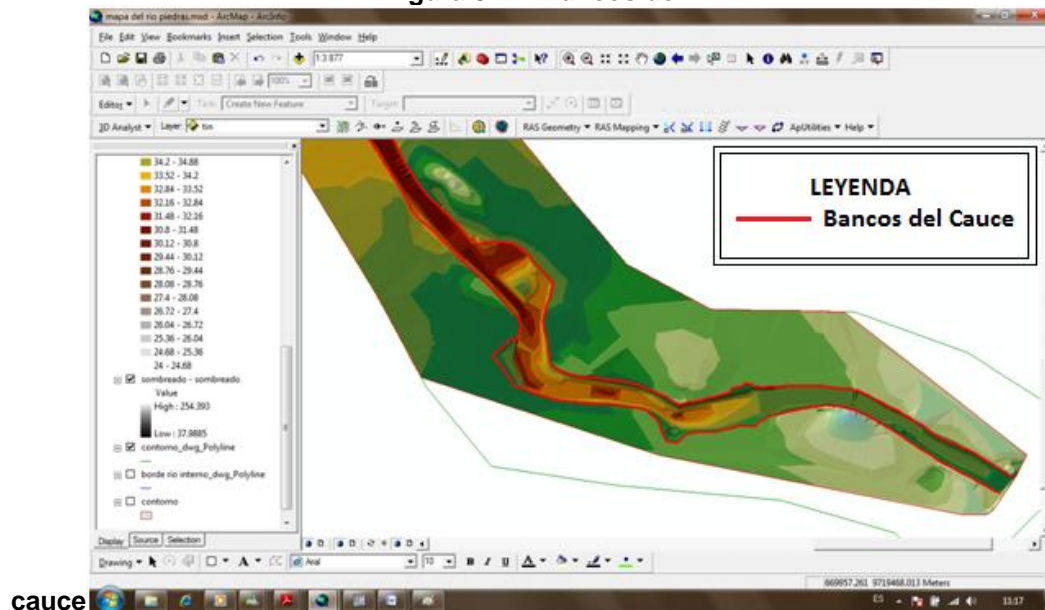
Las líneas de banco sirven para delimitar el cauce principal de un río. Las abscisas de cada sección transversal, se calculan a partir de la intersección de las líneas de banco con las secciones transversales. En ocasiones, cuando los quiebres del modelo digital del terreno no son muy apreciables, resulta mejor delimitar el cauce dentro del HEC-RAS mediante el uso de la herramienta Cross Section editor Tools.

Para una correcta delimitación del cauce principal se tienen algunos puntos importantes que se deben tomar en cuenta durante la edición de la capa correspondiente.

- Solamente dos líneas de banco pueden interceptar un línea de corte transversal.
- Las líneas de banco pueden ser discontinuas.
- La orientación de las líneas de banco no es importante y por lo tanto pueden trazarse en cualquier sentido, desde aguas arriba o aguas abajo.
- La creación de esta capa es opcional.

Para crear la capa de las Líneas de Banco, se ingresa al menú **RAS Geometry | Create RAS Layer | Bank Lines**.

Figura 3.14: Bancos del



cauce

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

❖ Línea de Flujo en las Llanuras de Inundación (FlowPath Centerlines Layer).

Los FlowPaths (sobrebancos) definen el centro de masas de las llanuras de inundación, sería como el eje por donde circula el agua, son la líneas que

hipotéticamente marcan la dirección del flujo, que a su vez son perpendiculares a las secciones de flujo.

También esta línea es utilizada para definir el flujo a través del sobrebanco izquierdo, cauce principal y sobrebanco derecho, esto permite identificar el centro de masas del flujo en la llanura de inundación. En el caso que la línea del Cauce principal (Stream Centerline) haya sido definida, es posible copiarla. Los FlowPaths se deben crear en la dirección del flujo, desde aguas arriba hasta aguas abajo, esto quiere decir que son perpendiculares a las llanuras de inundación. La distancia aguas abajo de los sobrebancos y canal principal para cada sección transversal, es calculada como la distancia entre las secciones transversales a lo largo de los FlowPaths.

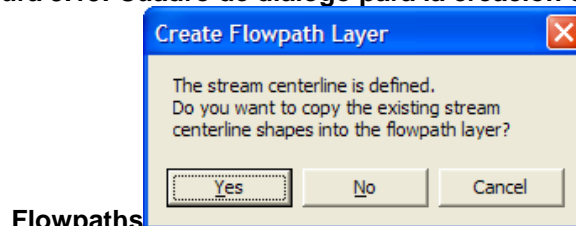
La creación de los FlowPaths es opcional, dado que HEC RAS también tiene herramientas para agregar estas características al modelo. Al momento de trazar los FlowPaths se debe considerar lo siguiente:

Las líneas de los FlowPaths deben trazarse en el sentido del flujo, de aguas arriba hacia aguas abajo.

- La línea de un FlowPath debe ser continua a lo largo del río.
- Cada línea de FlowPath debe interceptar a la línea de corte transversal solo una vez.
- Las líneas de los FlowPaths no se deben interceptar.

Para crear el objeto seleccionamos el *menu RAS Geometry | Create RAS Layer | FlowPath Centerlines*. Si la línea de flujo en el cauce principal está definida, aparecerá un cuadro de diálogo que permite copiar dicha línea como FlowPath.

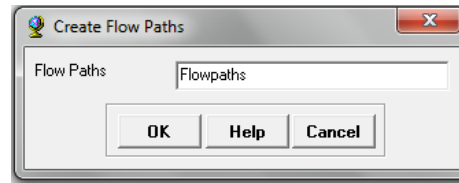
Figura 3.15: Cuadro de dialogo para la creación de un



Flowpaths
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

El archivo es generado con el nombre por defecto o con uno especificado por el usuario y luego se agrega automáticamente al mapa activo. El archivo es almacenado internamente dentro del Geodatabase que contiene el resto de objetos.

Figura 3.16: Dialogo para colocar nombre del Flowpaths



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

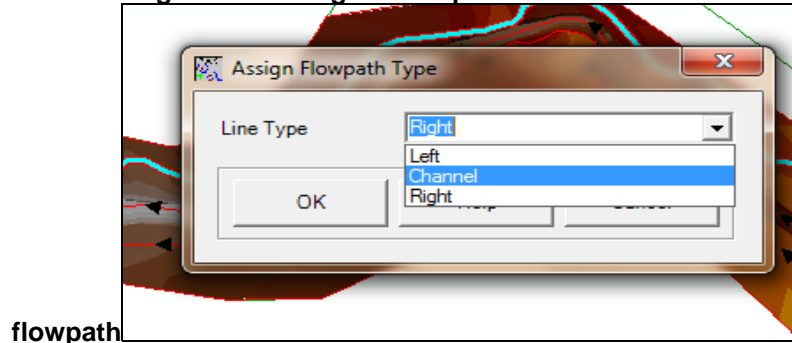
El siguiente paso es iniciar la edición del objeto tomando en cuenta las recomendaciones para evitar los errores.

Es necesario caracterizar y clasificar a cada flowpaths, para definir su tipo ya sea flujo en el cauce, flujo en el banco derecho o flujo en el banco izquierdo.

Para poder clasificar se usa la herramienta del HEC GeoRAS *Assing Line type*



Figura 3.17: Asignar un tipo de linea a cada

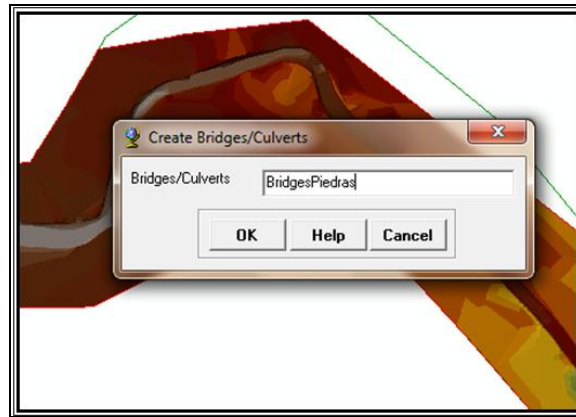


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

❖ Insertar Puente

Para introducir un Puente, es necesario conocer primeramente su ubicación. En la aplicación HEC-GeoRAS, en la ventana RAS Geometry | *Create RAS Layer* /y seleccionamos *Bridges/Culverts*, nos saldrá un dialogo en el que tenemos q colocar e nombre de nuestro puente.

Figura 3.18: Crear Puente



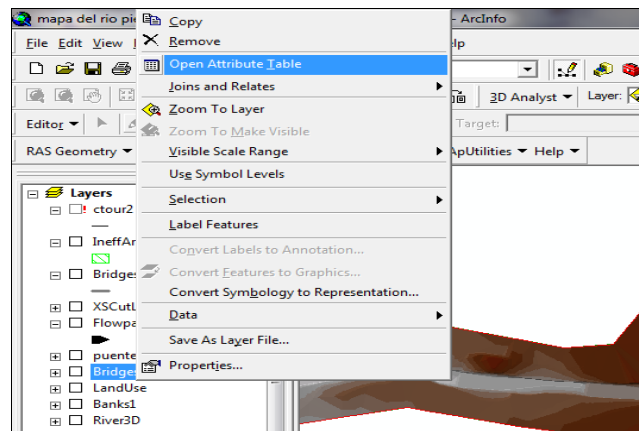
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Inicio en la herramientas de *edición (star editor | sketch tool)* y dibujamos una sección transversal en el lugar donde está ubicado el puente, desde la parte derecha del banco hacia la parte izquierda del banco.

Es necesario especificar el ancho del puente y la distancia desde la cara superior del puente hasta la sección más próxima aguas arriba del puente.

Para colocar esta información ingresamos a la tabla de atributos del puente haciendo clic derecho en el Layer creado para puente y luego en *Open Attribute Table* como se indica en la Figura 3.19.

Figura 3.19: Tabla de Atributos



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 3.20: Tabla de Atributos del Puente.



Shape *	OBJECTID *	Shape_Length	HydroID	River	Reach	Station	USDistance	TopWidth	NodeName
Polyline	3	372.55523	282	RIOPIED	PIEDRAS	1605.765	37.6	32	puentePiedra

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Donde:

Shape_Length: Es la longitud de la sección trazada incluyendo el largo del puente.

USDistance: Es la distancia desde la cara de aguas arriba del puente hasta la sección transversal más cercana aguas arriba del cauce.

TopWidth: El ancho del tablero en metros.

NodeName: Se puede colocar el nombre del puente.

Es necesario saber que cuando se exporta al HEC-RAS solo se exportaran la ubicación y el ancho del tablero, la sección de las vigas, los estribos, serán ingresados en el momento de calibración del modelo HEC-RAS.

Áreas inefectivas (*Ineffective Areas*)

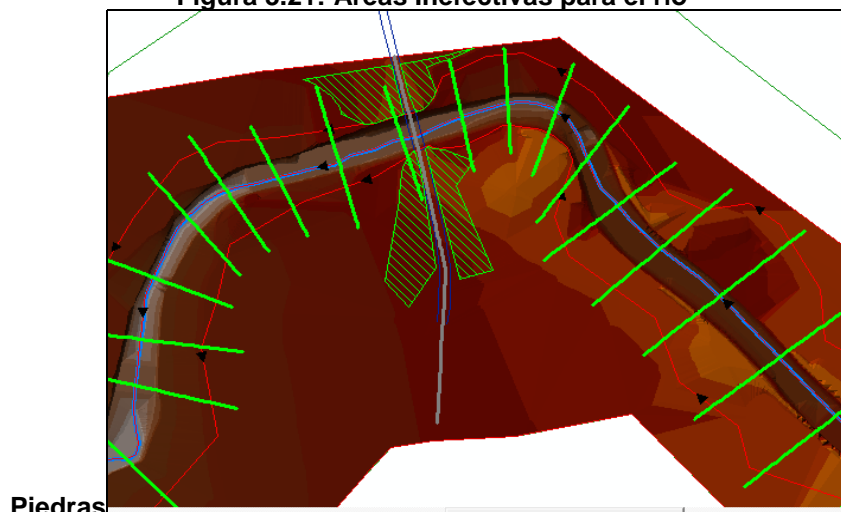
Las áreas inefectivas son áreas de la sección transversal que no contribuyen activamente al transporte del caudal, es decir, donde se considera que el agua tiene velocidad nula.

Estas pueden considerarse cerca de donde existan obras estructurales como muros, puentes, canales etc.

Para definir áreas inefectivas, es necesario que esté activa el modo EDITAR, seleccionando **Create New Feature** para la tarea "**Ineffective Areas**". Se trazan los polígonos o áreas usando la herramienta **Sketch**, para representar las áreas inefectivas como se presenta en la Figura 3.21 para el río Piedras.

En nuestro caso estas áreas inefectivas deben coincidir con la parte superior de los estribos del puente.

Figura 3.21: Áreas Inefectivas para el río



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

❖ LandUse

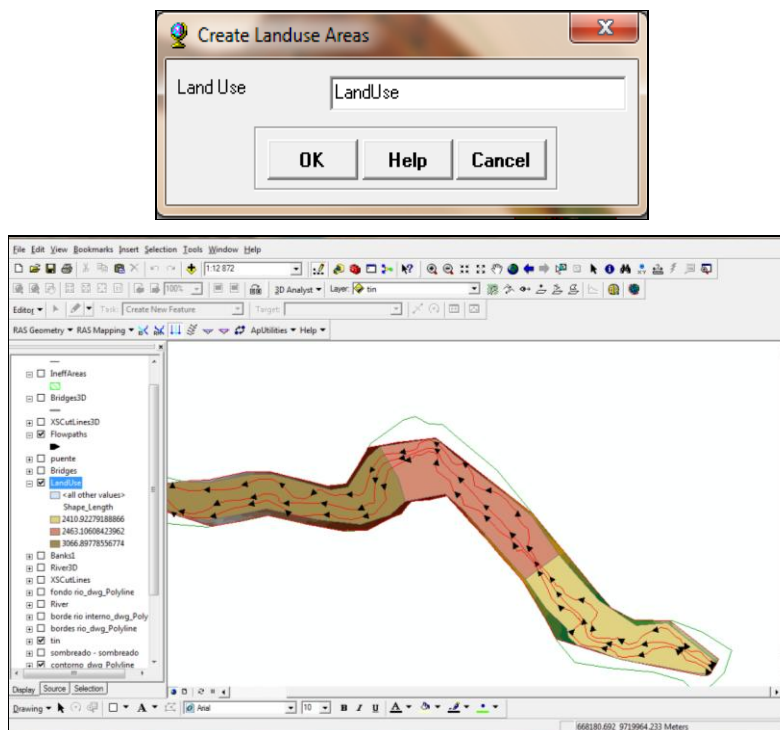
Esta herramienta puede servir para estimar el valor del n de Manning. Esta herramienta crea un polígono o áreas que poseen un campo que permite ingresar los valores del n de Manning. Si un valor del n de Manning no existe, GeoRAS permite crear una tabla de resumen con los valores del n de Manning basados en los polígonos antes mencionados creados.

Los polígonos deben ser creados en 2D y estos deben incluir a toda la sección transversal para evitar zonas sin un coeficiente, el cual presentará problemas en el instante del modelaje en el HEC-RAS.

Esta herramienta es opcional puesto que es posible ingresar los coeficientes del n de Manning directamente en el HEC-RAS.

Para crear estos polígonos, se utiliza **RAS Geometry | Create RAS Layer | Landuse Areas** en el menú. Un dialogo aparecerá donde permite ingresar el nombre de LandUse

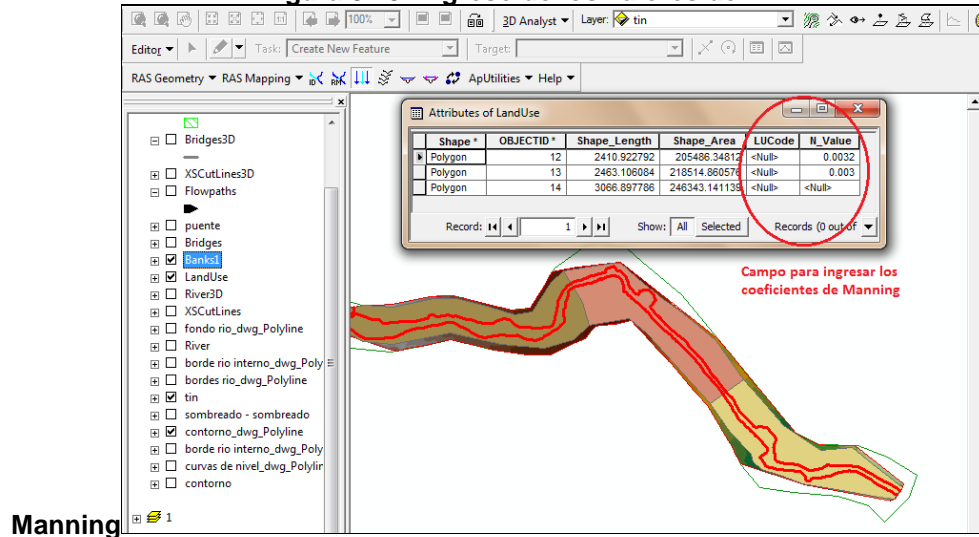
Figura 3.22: Crear Secciones para el valor del n de Manning.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Para crear estas áreas debe estar activa la herramienta de editar, seleccionando **sketch tool** se traza el área que limitaran los coeficientes de Manning.

Figura 3.23: Ingreso de los valores de



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

3.5 CALIBRACION DEL MODELO.

El HECRAS presenta opciones para que el modelo sea representativo y por tanto más próximo a la realidad, permitiendo ajustar los parámetros hasta obtener un modelo representativo del comportamiento real de los ríos.

El programa también permite filtrar errores originados en procesos anteriores ya sea dentro de la modelación en ArcGIS o durante la calibración en HEC-RAS.

Por tanto para la calibración del modelo se tomo en consideración los siguientes aspectos:

3.5.1 MÉTODOS DE CÁLCULO

Los métodos de cálculo para el flujo en canales abiertos, como se indica en la teoría pueden ser no uniforme y a régimen permanente (estacionario) o régimen no permanente (no estacionario).

En el primer caso se tiene que para un mismo caudal, se produce la variación del tirante o calado en el canal en función de la longitud del canal con una distribución de velocidades no uniforme.

Para el segundo caso se produce una variación del calado en función del tiempo, por lo tanto se produce una variación en el caudal. Este comportamiento obedece al régimen hidrológico.

3.5.1.1 Análisis de Flujo Estacionario.

A continuación se presenta el procedimiento a realizar para el cálculo de perfiles de flujo mediante el uso del HEC RAS. De acuerdo con el manual del usuario, es conveniente realizar este cálculo en dos etapas como se indica a continuación.

La primera etapa consiste en el ingreso de los datos de flujo y condiciones de frontera.

La segunda parte consiste en el desarrollo de un plan y la calibración de los parámetros.

3.5.1.2 Datos de flujo Estacionario.

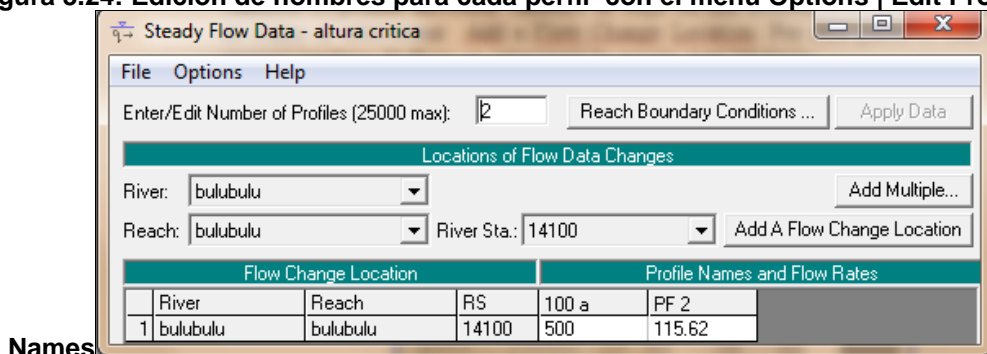
Luego de que la geometría del cauce este bien definida, se procede a ingresar algunos datos de flujo. Para realizar la edición de estos datos se selecciona el menú Edit | Steady Flow Data, Luego aparece un cuadro de diálogo como se indica en la figura.

La información requerida es la siguiente:

- El número de perfiles que se calcularán, pueden ser como máximo 2000.
- Ingresar el valor de los caudales, al menos uno para todos los tramos y todos los perfiles.
- Los datos de flujo son ingresados desde aguas arriba hasta aguas abajo para cada tramo. Al menos un valor de flujo debería ser ingresado para cada tramo del sistema. Una vez que el valor del flujo se ingresa aguas arriba, el resto del sistema asume este valor como constante.

También es posible adicionar cambios de flujo en una determinada sección transversal de un tramo al seleccionar Add a Flow Change Location. Por otra parte, si son necesarios algunos cambios de flujo, se selecciona la opción Add Multiple.

Figura 3.24: Edición de nombres para cada perfil con el menú Options | Edit Profile



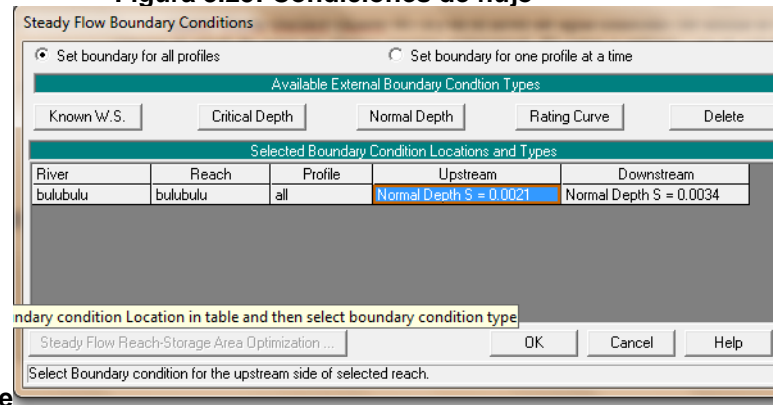
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

3.5.1.3 Condiciones de Frontera.

Para ingresar las condiciones de frontera se selecciona la opción Reach Boundary Conditions ubicada a la derecha del Steady Flow Data Editor.

Las condiciones de frontera son necesarias para establecer la superficie de agua inicial en el extremo del sistema, aguas arriba y aguas abajo. Cuando se calcula un flujo a régimen subcrítico, solo se necesita definir condiciones de frontera en el extremo aguas abajo, pero cuando se calcula un flujo a régimen supercrítico, son necesarias las condiciones de frontera aguas arriba. Finalmente, si el cálculo se realiza para un flujo mixto, son necesarias las condiciones de frontera en los dos extremos del sistema.

Figura 3.25: Condiciones de flujo



Permanente

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La ventana *Steady Flow Boundary Conditions* presenta cinco opciones para definir condiciones de frontera como se observa en la Figura 3.25. Al ingresar las condiciones de frontera aguas para un determinado régimen de flujo, se selecciona la celda vacía correspondiente.

- *Know Water Surface (Know W. S.)* es el nivel de agua conocido. Se utiliza si se conoce el nivel de agua en alguna sección transversal. El valor a utilizar, es el calado conocido mas la cota más baja del canal o datum.
- *Critical Depth* es el calado crítico, es útil cuando se presenta alguna sección de control, esta opción no requiere de otros datos adicionales.
- *Normal Depth* es útil cuando se presenta un flujo que se aproxime al uniforme. El valor a ingresar es la pendiente de la línea de energía en una sección transversal. Los valores que usualmente se utilizan para realizar la calibración son cercanos o iguales a la pendiente del flujo normal.
- *Rating Curve* es la curva de gasto conocida en una sección de control, esto quiere decir que es una sección transversal con una relación de calado y caudal fija.

3.6 INTERPRETACION Y PRESENTACION DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados como las alturas críticas, velocidades de flujo exportadas por el HECRAS permite realizar interpretaciones y análisis gráficos para cada uno de los ríos estudiados en los diferentes puntos de interés, estos resultados en distintos mapas, indicando así las zonas riesgo y por tanto de inundación. La apreciación gráfica será de gran ayuda para comprobar si es o no factible y recomendable tener resultados gráficos que tabulares.

CAPITULO 4. DESARROLLO DEL MODELO HEC GEO RAS

4.1 IMPORTANCIA DEL USO DEL MODELO HEC GEO RAS

El modelo HEC GeoRAS facilita el trabajo posterior en HEC-RAS, creando un archivo que es importado desde el sistema de información geográfica al software, donde se incluyen datos como la geometría del terreno, límites de cauce, secciones transversales, abscisado del terreno, ubicación de puentes. Posteriormente, la velocidad, el calado, es decir, los resultados obtenidos con el caudal de 50 años de retorno, luego son exportados al ArcGIS, con el fin de obtener mapas de inundación y riesgo.

El modelo HEC GeoRAS ayuda a delimitar de una forma más rápida los cauces del río, ya sea de ríos de llanura como lo son los ríos del Cañar y Bulubulu, ya que en otro caso se puede llegar a confundir el cauce actual con palio cauces presentes en las llanuras de inundación.

En el modelo HEC GeoRAS se pueden adicionar parámetros y características hidráulicas preliminares como son: áreas inefectivas, elementos de obstrucción como puentes, muros, canales, coeficientes de Manning, diques etc. presentes en cualquier sección transversal, de forma que facilita el trabajo en HEC-RAS.

Luego de trabajar con HEC RAS, es posible realizar un post proceso de los resultados mediante el sistema de información geográfica con el fin de obtener una representación espacial de cada escenario.

4.2 DEFINICIÓN DE FRONTERAS ESPACIALES Y TEMPORALES

Las condiciones de frontera son necesarias para que el software pueda realizar la simulación dentro de un escenario establecido por el usuario, esto depende de los métodos de cálculo a utilizarse y el régimen de flujo.

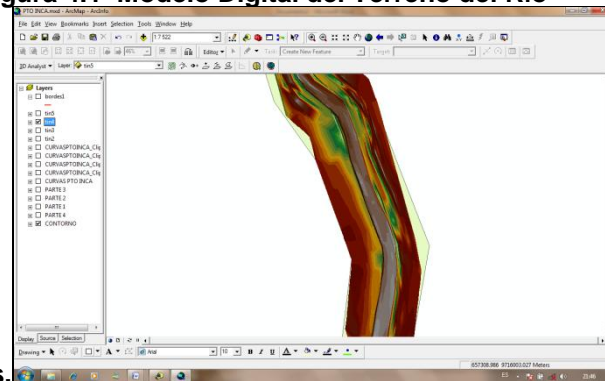
La extensión del modelo obedece a la cantidad de información que se tiene dentro del área del proyecto, siendo posible estudiar determinadas zonas si se conocen las condiciones de frontera cercanas. Para que el programa pueda iniciar los cálculos, es indispensable conocer niveles en una determinada zona

Por otra parte está el tiempo en el que se dan los fenómenos, en el estudio del tránsito de avenidas es necesario conocer el intervalo de tiempo en el que se da este evento. En el hidrograma de crecida se puede encontrar el tiempo que dura la simulación.

4.3 DESARROLLO DEL MODELO

Primeramente se crea el TIN , para esto se añadió la topografía respectivamente georeferenciada, es recomendable generar el TIN solamente con las curvas de nivel, puesto que si se realizan juntamente curvas y puntos, se crea una doble información alterando el resultado deseado.

Figura 4.1 Modelo Digital del Terreno del Río

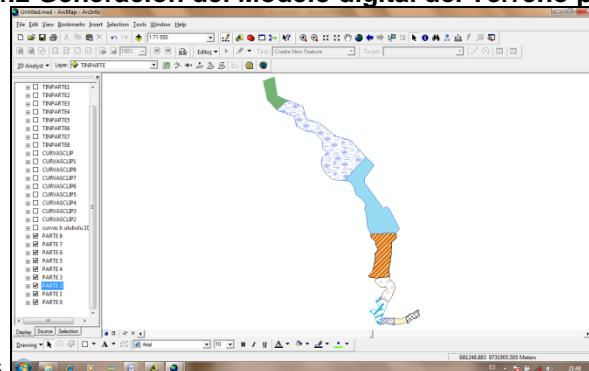


Piedras.

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En el caso del río Bulubulu, debido a su dimensión y puesto que el programa presenta problemas cuando se intento realizar el modelo digital, se procedió a dividir el río en 9 tramos y poder así generar el TIN para cada parte.

Figura 4.2 Generación del Modelo digital del Terreno por

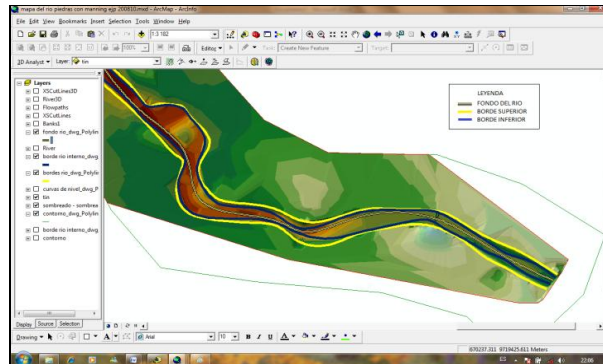


partes.

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Luego de tener ya el modelo digital, se realizo el trazado respectivo de la geometría del terreno (fondo del río, bordes, llanuras de inundación, secciones transversales, etc.). Fue de gran ayuda contar con una capa para cada geometría importada desde AUTOCAD, para así ir calcando su posición y disminuir el trabajo de “suponer su ubicación”.

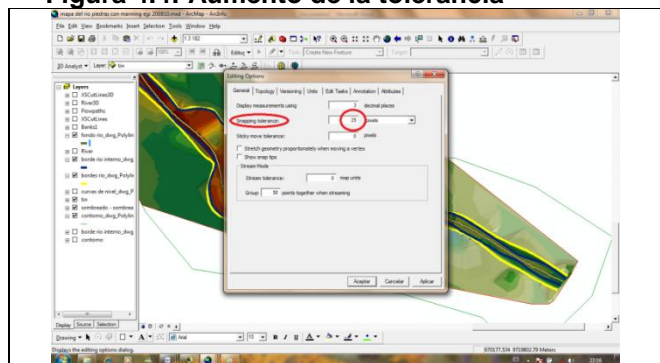
Figura 4.3: Bordes superior e inferior previo al trazado en el HEC GeoRAS.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Se aumentó la tolerancia del *Snapping*, en el presente estudio se aumentó de 7 a 25, para tener una mejor aproximación en el trazado.

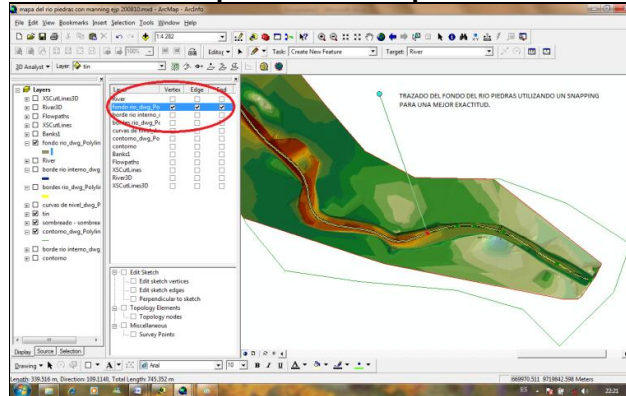
Figura 4.4: Aumento de la tolerancia



Snapping.

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.5: Limitación para el trazado por medio de Snapping.



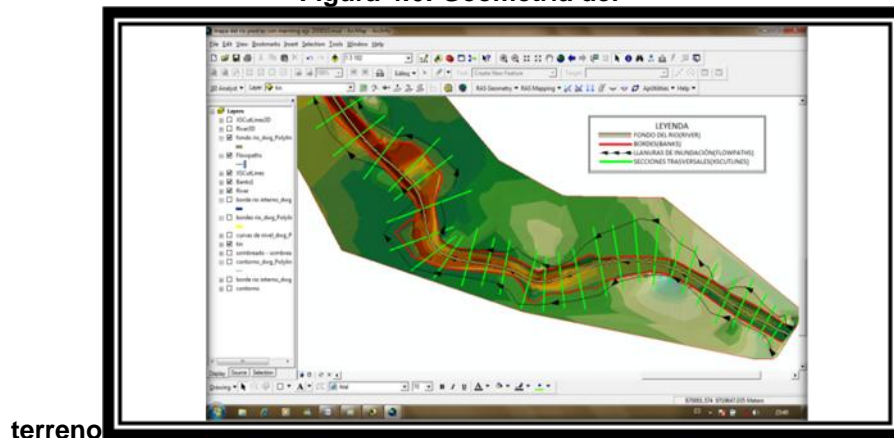
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En la Figura 4.5 se muestra el trazo del fondo del río, así como el *Snapping* donde se puede limitar el calcado, es decir, calcar solamente a la capa deseada.

Luego de haber trazado el fondo del río (**Stream Centerline**), se procedió a trazar de la misma manera los distintos bordes del río(**Banks**), las llanuras de inundación(**Flowpaths**), las secciones transversales(**XSCutLines**), y la ubicación de puentes, en caso de existir como en el río Patúl, para la correcta posición de las áreas inefectivas. Ver Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.6.

Figura 4.6: Geometría del



terreno

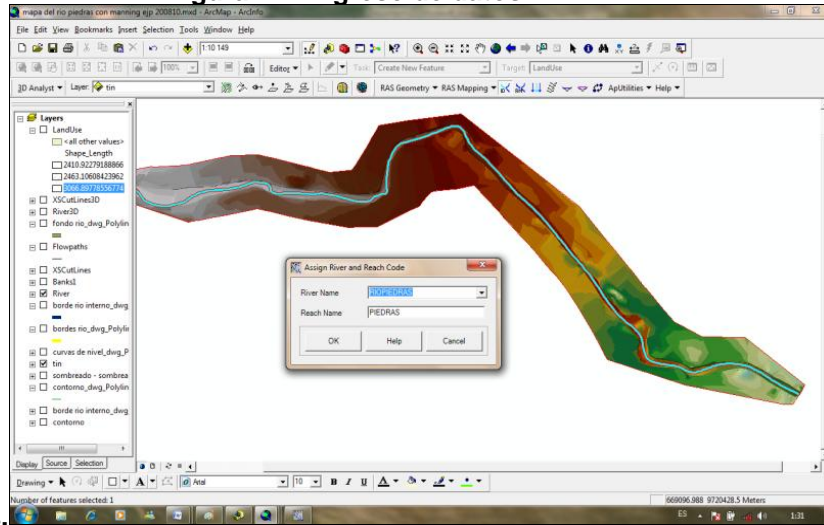
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Una vez que se trazó las distintas geometrías, se asignó las diferentes características del río como nombre, abscisado, etc.

Se mostrará gráficamente los pasos a seguir:

Se asignó el nombre del río, el nombre del afluente correspondiente en caso de existir.

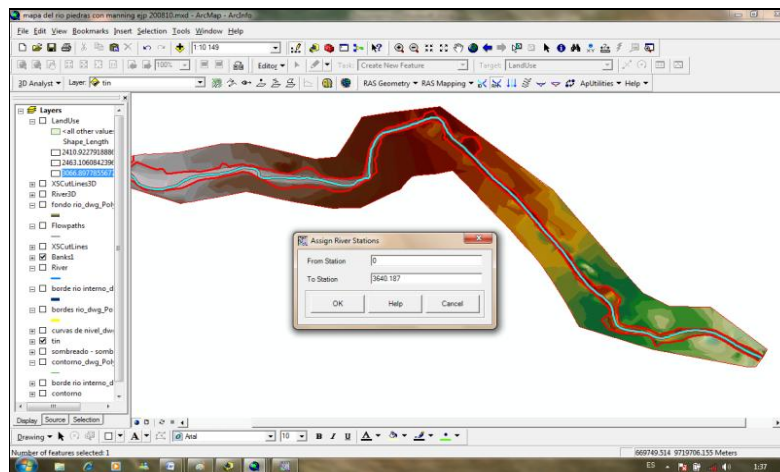
Figura 4.7: Ingreso de datos



adicionales.

Se asignó la estación correspondiente, el tipo de llanura, ya sea centro, izquierdo o derecho.

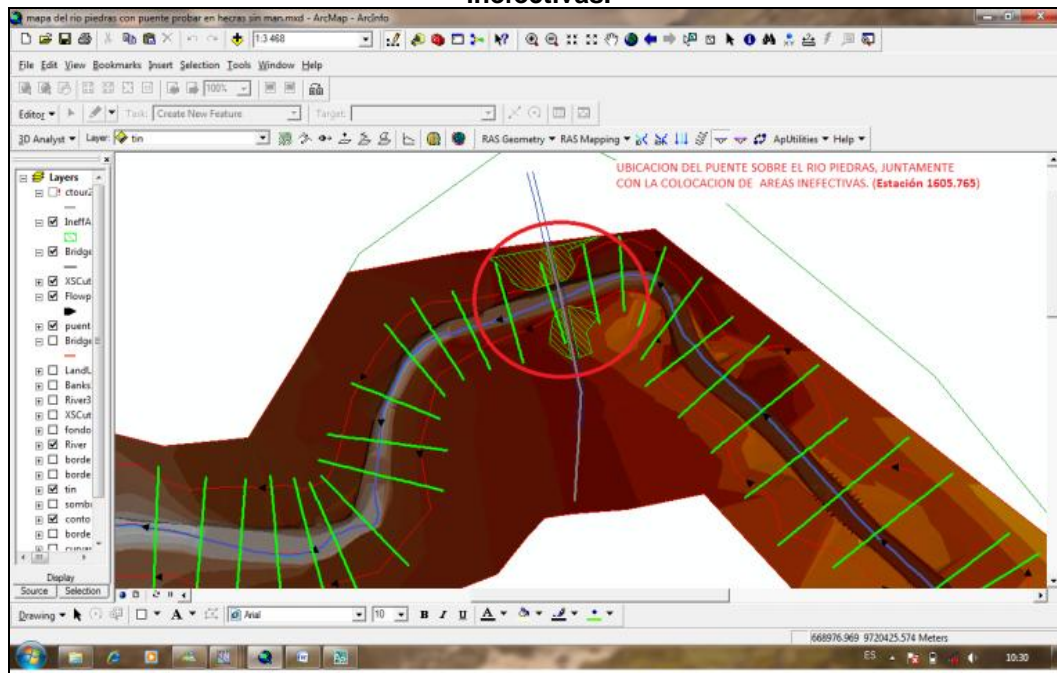
Figura 4.8: Ingreso de las estaciones (abscisado)



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

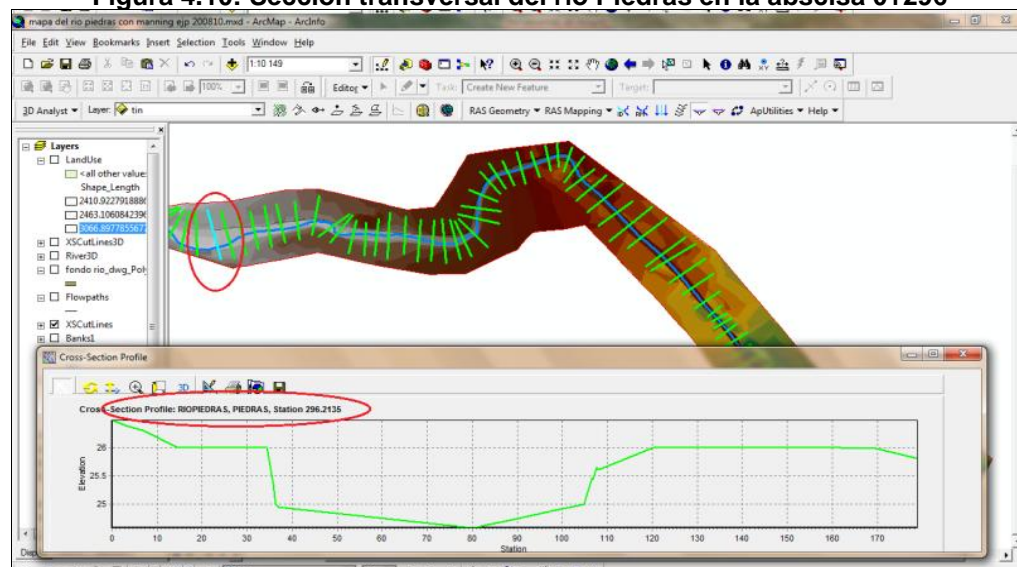
La introducción de los datos geométricos del puente y de las áreas inefectivas provocadas por esta estructura fué de ayuda para su exportación al HEC-RAS. El puente está ubicado en la estación 1605,765 a lo largo del tramo del río Piedras.

Figura 4.9: Ubicación del Puente sobre el río Piedras, y sus áreas inefectivas.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

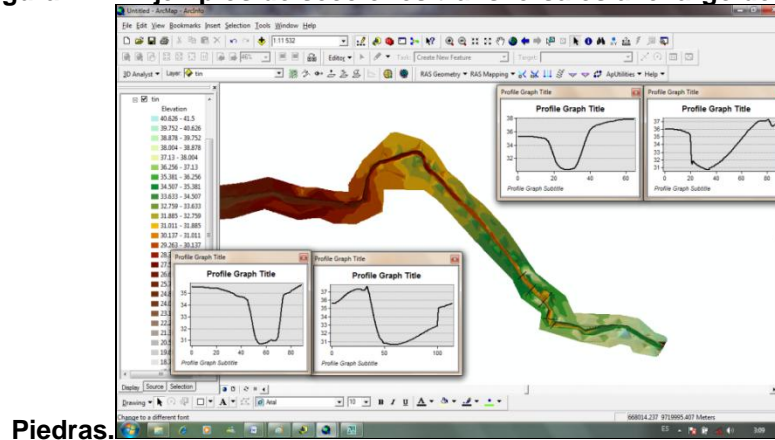
Figura 4.10: Sección transversal del río Piedras en la abscisa 0+296



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En el gráfico de la sección se puede apreciar los datos o características antes ingresadas como por ejemplo el nombre del río, nombre del río tributario (en caso de existir algún afluente), la estación a la que corresponde la sección analizada.

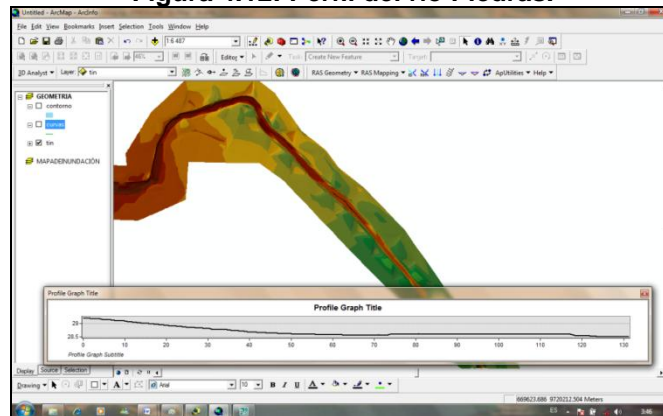
Figura 4.11: Ejemplos de secciones transversales a lo largo del río



Piedras.

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.12: Perfil del río Piedras.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Para la asignación del “n” de Manning se colocaron las áreas que corresponde a cada valor, así: empezando de aguas arriba con el mayor “n” calculado y disminuyendo en un 0.002 hasta aguas abajo. (Ej.: en el río Bulubulu se empezó con un “n” de 0.035 aguas arriba y culminando con un “n” de 0.025 aguas abajo para el análisis de flujo permanente).

Es muy importante que cuando se esté dibujando estas áreas, todas las secciones transversales antes trazadas queden en el interior del polígono para así evitar futuros problemas en el calibrado y corrido del programa HEC-RAS puesto que parte de la sección no contará con las características asignadas al área dibujada como por ejemplo su coeficiente “n” de Manning.

Para poder asignar un valor de coeficiente de Manning es necesario que este iniciada la edición en **Start Editing**.

Debe estar activo el Editor

AREA 2 Para coeficiente de Manning

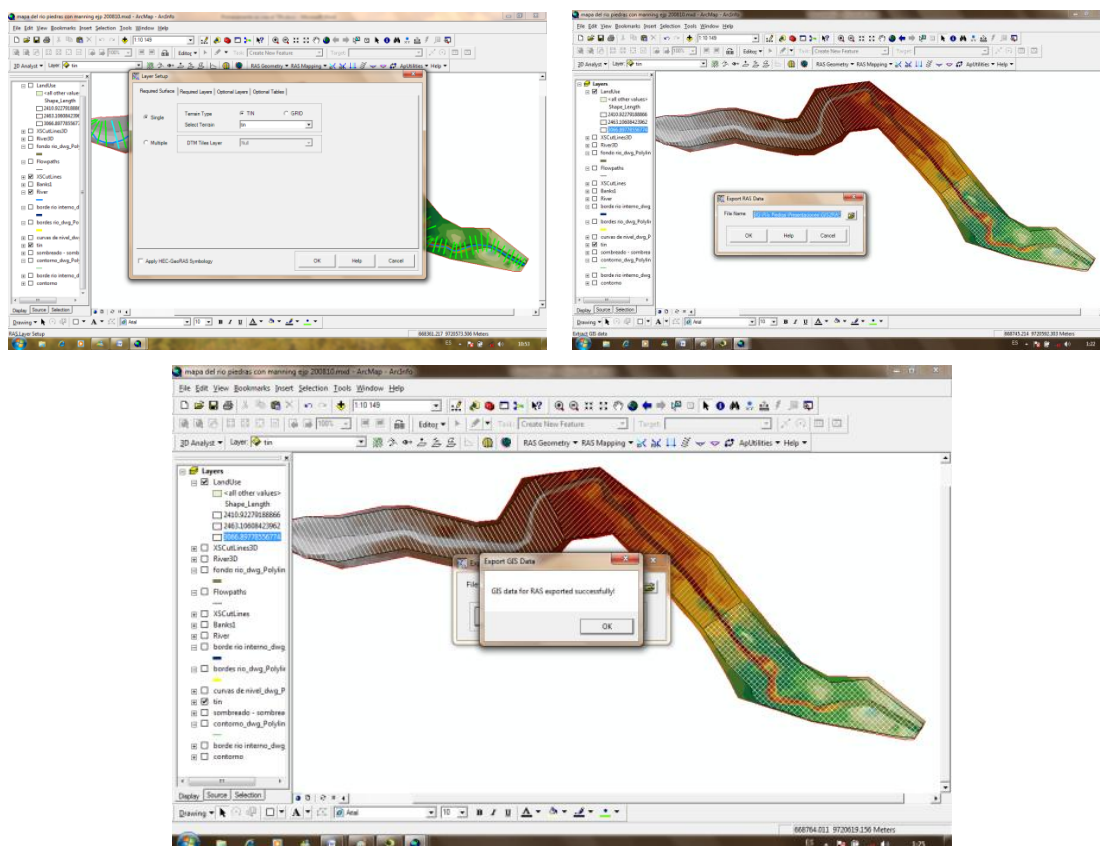
AREA 1 Para coeficiente de Manning

	Manning	Shape Length	Shape Area	100' m	1. Value
Polygon	12	2115.922792	205488.34152	<Null>	0.002
Polygon	13	2463.139284	218814.885170	<Null>	0.002

Record: 1 2 3 Show All Selected Records (0 out of 2)

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.14: Exportación al HEC-RAS.

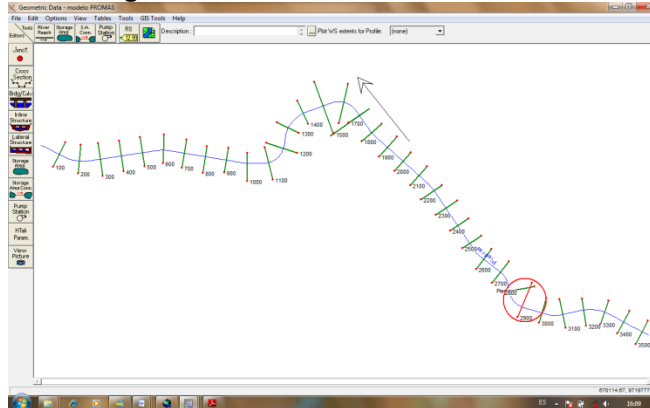


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Los datos exportados al HEC-RAS son:

- Principalmente y de importancia en el trabajo fue la exportación georeferenciada del cauce del río, esto ayudará a los futuros mapas de y zonas reales de inundación.
- Las secciones transversales, juntamente con los bordes del río, es decir, con su cauce.
- "N" de Manning
- Ubicación de Obras Estructurales (puentes, muros, canales, etc.)

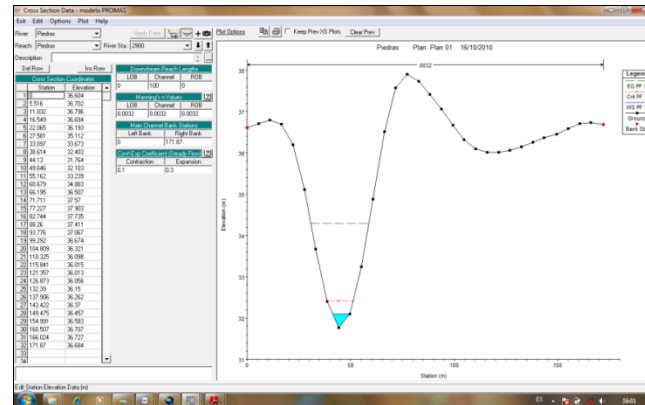
Figura 4.15: Río Piedras en HEC-RAS



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En el gráfico se puede apreciar que se indica la dirección de flujo, juntamente con las secciones transversales.

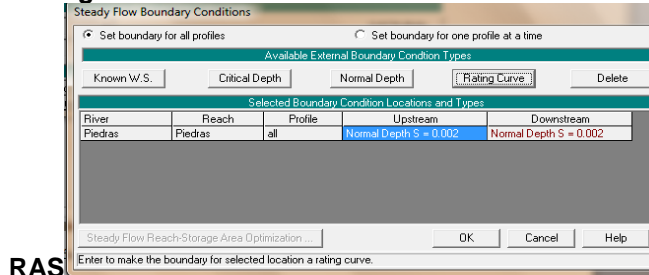
Figura 4.16: Sección del cauce en el HEC-RAS del río Piedras.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Es importante la calibración correcta del modelo para así obtener una mejor aproximación a la realidad. Saber si es flujo subcrítico o supercrítico y se el modelo está respondiendo correctamente a lo esperado.

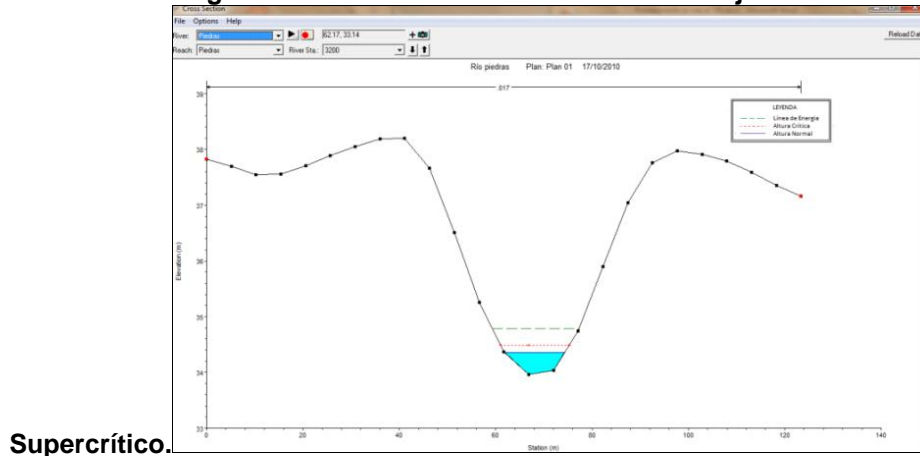
Figura 4.17: Calibración del modelo en HEC-



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Los resultados en el HEC RAS pueden observarse de diferentes formas, ya sea como secciones transversales, donde se indica la altura del calado, la altura crítica, además se dispone del perfil longitudinal, de una vista en perspectiva, tablas para cada sección, y para todo el tramo.

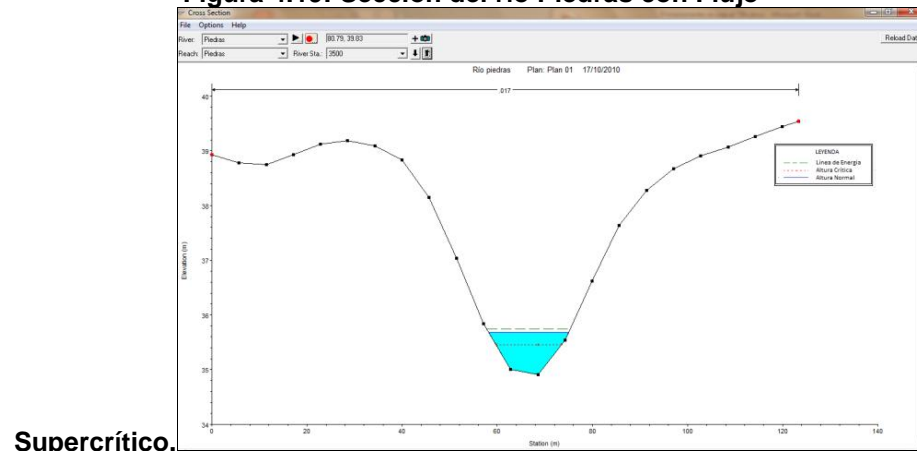
Figura 4.18: Sección del río Piedras con Flujo



Supercrítico.

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.19: Sección del río Piedras con Flujo

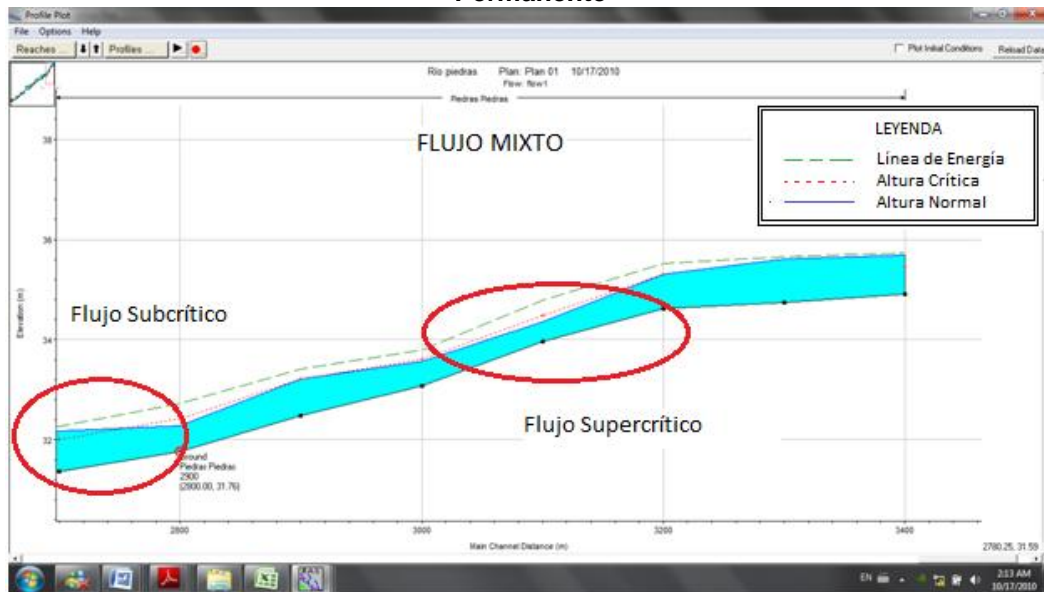


Supercrítico

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

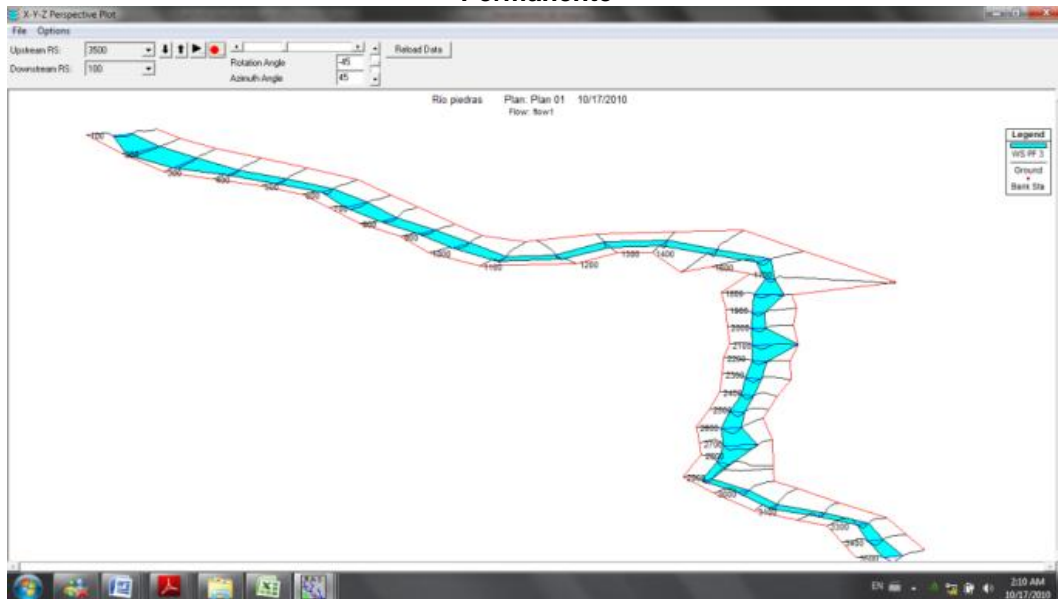
En el gráfico de la izquierda se muestra una sección del río Piedras con abscisa 3+200 donde se observa que la altura crítica es mayor que la altura normal, definiéndose como un flujo supercrítico, en cambio, en la figura de la derecha se muestra una sección del mismo río con abscisa 3+500, que presenta un flujo subcrítico puesto que la altura crítica es menor que la altura normal, esto demuestra que la consideración tomada de que el río presenta un flujo mixto es correcta.

Figura 4.20: Flujo Mixto, Flujo Permanente



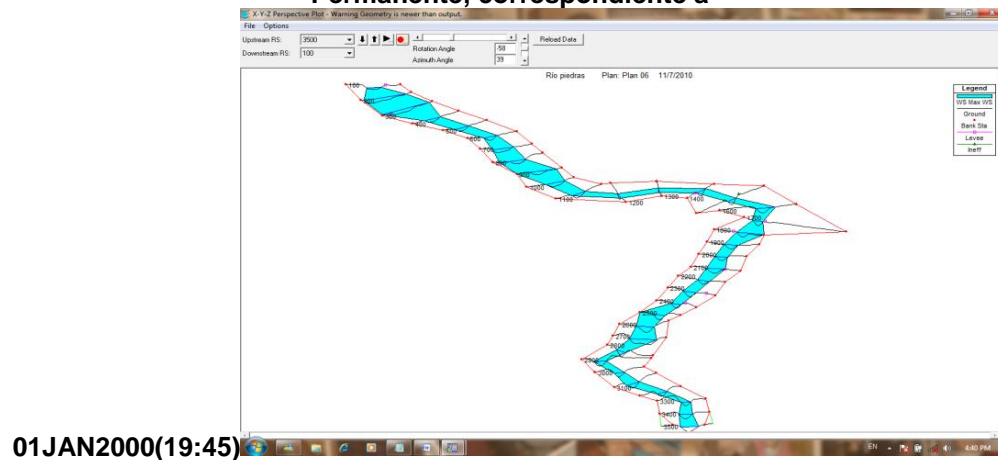
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.21: Perspectiva del caudal con un periodo de retorno de 50 años, Flujo Permanente



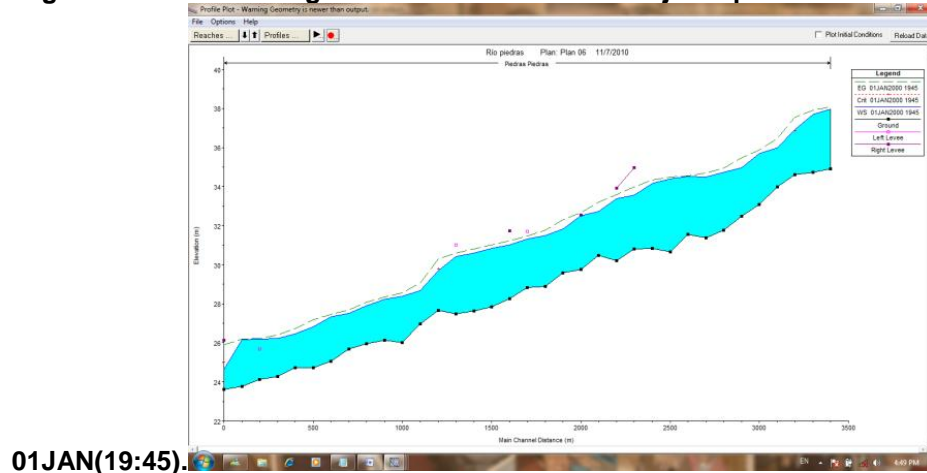
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.22: Perspectiva del caudal con un periodo de retorno de 50 años, Flujo NO Permanente, correspondiente a



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.23: Perfil Longitudinal del río Piedras. Flujo no permanente del



01JAN(19:45).

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

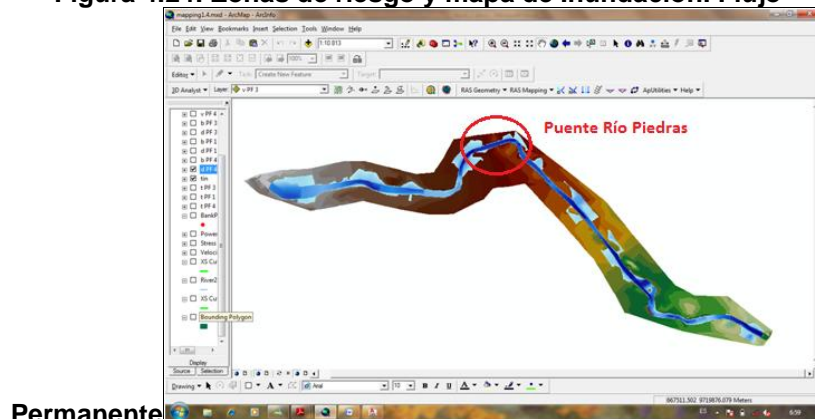
Después de los resultados obtenidos en el HEC-RAS, estos se deben exportar para así determinar las zonas de riesgo y generar los mapas de inundación.

Previo a la exportación de los resultados del HEC-RAS al ArcGIS, es necesario que las secciones transversales interpoladas (*) se conviertan en secciones transversales medidas reales o a su bien no exportarlas.

También es importante que las curvas de nivel hayan sido bien generadas, para así evitar problemas en la creación de los mapas de inundación, problemas como cierre inesperado del programa, o mensajes de error.

Una vez exportado los datos se procede a crear los mapas de inundación usando la herramienta RAS MAPPING.

Figura 4.24: Zonas de riesgo y mapa de Inundación. Flujo

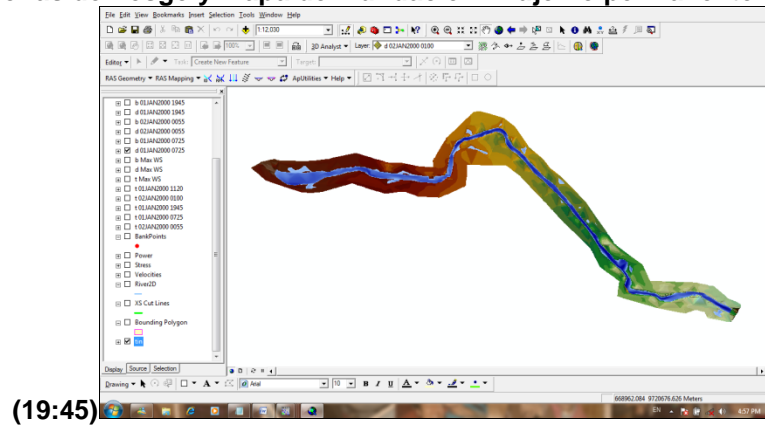


Permanente

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Como se puede observar en la zona del puente del río Piedras existe una transición, donde en el cálculo se colocó zonas de áreas inefectivas.

Figura 4.25: Zonas de riesgo y mapa de Inundación. Flujo no permanente del 01JAN2000



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

4.4 UNIDADES

El sistema adoptado para utilizar el software, es el Sistema Internacional de unidades. HEC RAS trabaja solo con configuración americana la cual es usar el punto "." como separador de decimales y el espacio como separador de miles.

Tabla 4.1 Unidades del modelo HEC-RAS

DIMENSION	UNIDAD
Velocidad	m/s
Calado	m
Rugosidad	-
Escala de tiempo	seg.
Caudal	m ³ /s
Pendiente de Fricción	m/m
Sección Transversal	m

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

4.5 ESQUEMA

Como se indicó anteriormente en el sistema de información geográfica se definen gran parte de los datos geométricos junto con algunos parámetros hidráulicos de diseño preliminares.

Se inicia un proyecto en el ArcGIS introduciendo toda la cartografía existente del proyecto, luego de crear el modelo digital de elevación se procede a delimitar los cauces, bancos, sobrepantecos, fondo del río. Se define también las secciones transversales del río, los coeficientes de Manning en sus correspondientes

sectores o áreas, si existe alguna obra estructural, se deben colocar también las áreas inefectivas. Finalmente se crea un archivo de exportación al HEC RAS (RAS GIS Import file)

La simulación hidráulica se lleva a cabo en HEC RAS dentro de un nuevo proyecto, luego de importar el archivo creado por el ArcGIS. Previo a definir las condiciones de frontera, se debe completar los datos adicionales de las estructuras, puesto que solamente se cuenta con su ubicación geográfica y algunos parámetros hidráulicos. Para poder realizar la simulación numérica es necesario la introducción de las condiciones de frontera requeridas, dependiendo del régimen de flujo se pueden tener: curvas de descarga, pendiente de fricción, cambios de caudal en una determinada sección para un flujo permanente, cuando se trata de un flujo no permanente es necesario conocer los hidrogramas de crecida junto con los datos mencionados. Luego de analizar los resultados obtenidos en el programa se procede a comprobar si se aproximan a los niveles medidos en el campo. Para este paso crucial que comprende la calibración del modelo, es útil el mapeo de los distintos escenarios mediante el sistema de información geográfica, de esta forma se verifica si efectivamente los perfiles calculados por el software son útiles para determinar zonas afectadas.

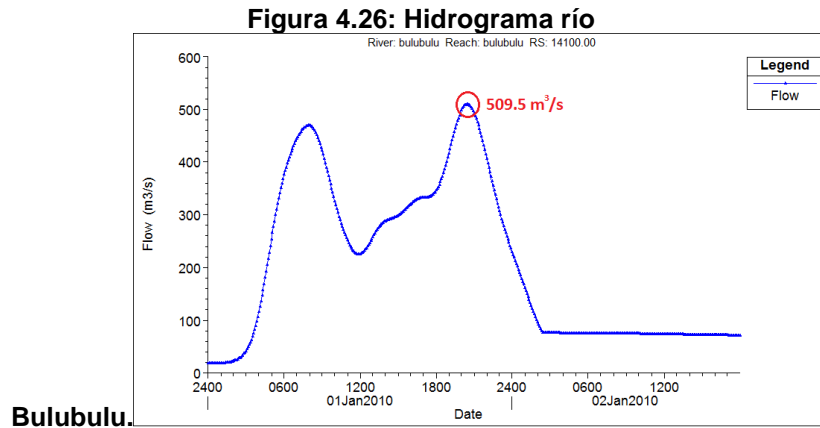
En el caso de que los resultados no sean coherentes, es posible variar los parámetros hidráulicos con la finalidad de afinar los resultados. Este procedimiento final se convierte en un proceso iterativo y por lo tanto el grado de afinidad alcanzado depende de la magnitud del estudio.

4.6 CALIBRACIÓN DEL MODELO

4.6.1 CAUDALES A SIMULAR

A pesar que para los ríos con flujo estacionario se los calibró con la curva de descarga respectiva, también se tomó en consideración los máximos caudales de 50 años de retorno que se disponen de los hidrogramas de crecida ubicados aguas abajo de cada tramo.

(Ver Figura 4.26, Figura 4.27, Figura 4.28, Figura 4.29).

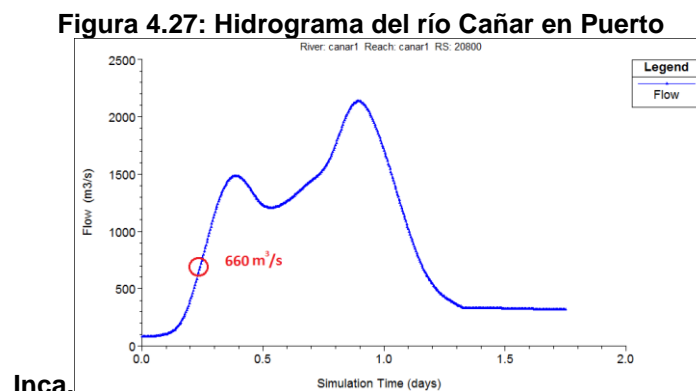


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Tabla 4.2: Curva de Descarga para río Bulubulu

Manuel J. Calle			
Aforo	Fecha	H	Q
#		m	m³/s
1	25/01/2010	1.07	24.69
2	26/01/2010	0.97	13.96
3	28/01/2010	1.14	26
4	29/01/2010	1.46	33.59
5	8/2/2010	1.54	38.97
6	9/2/2010	1.84	58.05
7	10/2/2010	1.83	60.36
8	30/03/2010	1.62	33.48
9	31/03/2010	1.64	40.77
10	1/4/2010	1.68	36.99
11	5/4/2010	1.84	81.75
12	6/4/2010	1.81	66.01
13	7/4/2010	1.8	51.87
14	8/4/2010	1.66	49.07
15	13/04/2010	1.93	86.27
16	14/04/2010	2.34	115.62

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

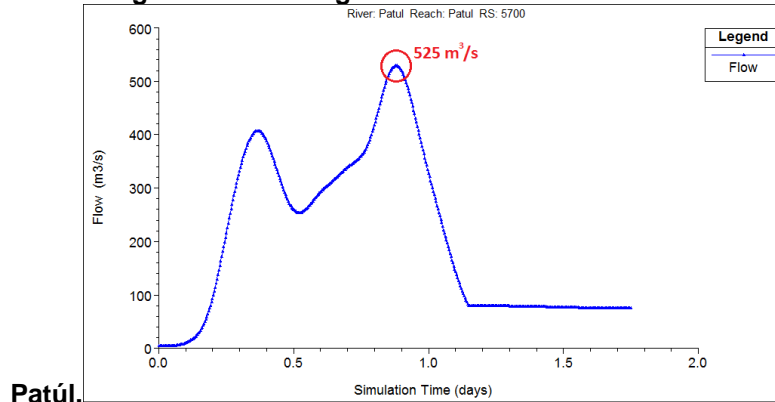
Para el río Cañar se consideró este valor tomando en cuenta también la curva de descarga del aforo realizado en el puente del sector Pto. Inca. (Ver Tabla 4.3: Curva de Descarga río Cañar, sector Pto. Inca.)

Tabla 4.3: Curva de Descarga río Cañar, sector Pto. Inca.

Cañar en Puerto Inca			
Aforo #	Fecha	H m	Q m³/s
1	25/01/2010	1,93	28,91
2	26/01/2010	1,91	29,05
3	27/01/2010	2,27	55,10
4	08/02/2010	4,16	206,18
5	10/02/2010	2,67	171,08
6	15/02/2010	6,80	660,14
7	13/04/2010	5,95	437,23
8	15/04/2010	5,86	464,21
9	19/04/2010	5,20	347,40
10	22/04/2010	5,02	318,57
11	26/04/2010	5,12	284,33
12	28/04/2010	5,15	293,14
13	29/04/2010	4,86	266,24

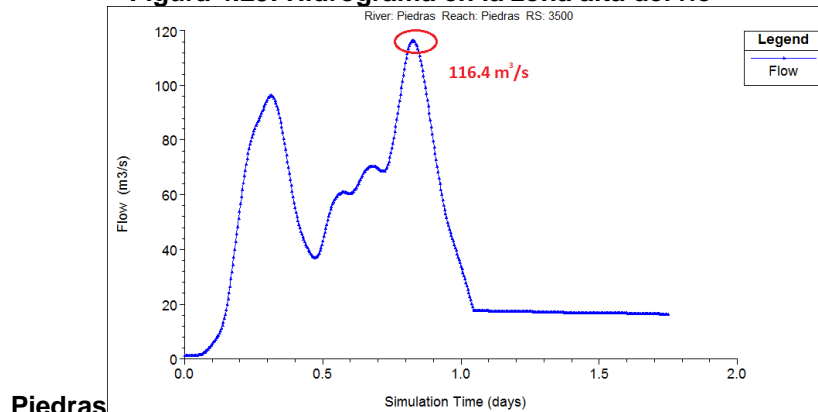
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.28: Hidrograma en la zona alta del río



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 4.29: Hidrograma en la zona alta del río



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La Tabla 4.4 muestra un resumen de los caudales utilizados para nuestro trabajo.

Tabla 4.4: Caudales 50 años de retorno y condiciones de análisis

RIO	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)	TIPO DE FLUJO ANALIZADO
BULUBULU	509.5	ESTACIONARIO
CAÑAR	660	NO ESTACIONARIO
PATUL	525	ESTACIONARIO
PIEDRAS	116.4	NO ESTACIONARIO

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

4.6.2 CONDICIONES DE FRONTERA

Las condiciones de frontera que se consideraron para los diferentes ríos son:

Tabla 4.5: Pendiente de la Línea de Energía aguas abajo.

RIO	PENDIENTE DE FRICCION AGUAS ABAJO (%)
BULUBULU	0.0025
CAÑAR	0.005
PATUL	0.02
PIEDRAS	0.03

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La simulación se la realiza para flujo gradualmente variado mixto en régimen NO permanente. Solamente en el caso del río Patúl el tipo de flujo analizado es Estacionario.

Todos estos caudales, pendientes de fricción, histogramas, permitieron simular las diversas condiciones de flujo en sus ríos respectivos

4.7 OBTENCION DE PARAMETROS HIDRAULICOS DE DISEÑO

4.7.1 Secciones transversales

En cada una de las secciones transversales se definen los parámetros hidráulicos de diseño, tales como, los bancos, fondo del río, sobrepastos, caudal, coeficiente de Manning ya sea para la llanura de inundación y para el cauce, etc.

4.7.2 Caudales medios en el campo

Los caudales utilizados en el diseño se tomaron de los hidrogramas de crecida antes descritos (Ver Figura 4.26, Figura 4.27, Figura 4.28, Figura 4.29) y de los aforos realizados en diferentes sitios a lo largo del río (Ver Tabla 4.3 Tabla 4.4.)

4.7.3 Rugosidades de los Canales (n de Manning)

La selección de un valor apropiado para el número del “n” de Manning, tiene mucha significancia en la precisión de los cálculos de los perfiles hidráulicos.

Este valor es variable y depende de un gran número de factores entre los que incluyen: rugosidad de superficie, vegetación, irregularidades del cauce, alineación del cauce, erosión, y deposición, obstrucciones, tamaño y forma del cauce, estación y descarga, cambio temporal, temperatura, material en suspensión y carga de fondo.

En general, el número de Manning debe ser calibrado en todo sitio en donde sea disponible obtener información. Cuando no se dispone de esta información, se deberán utilizar valores obtenidos para ríos en condiciones similares, o en valores obtenidos desde datos experimentales.

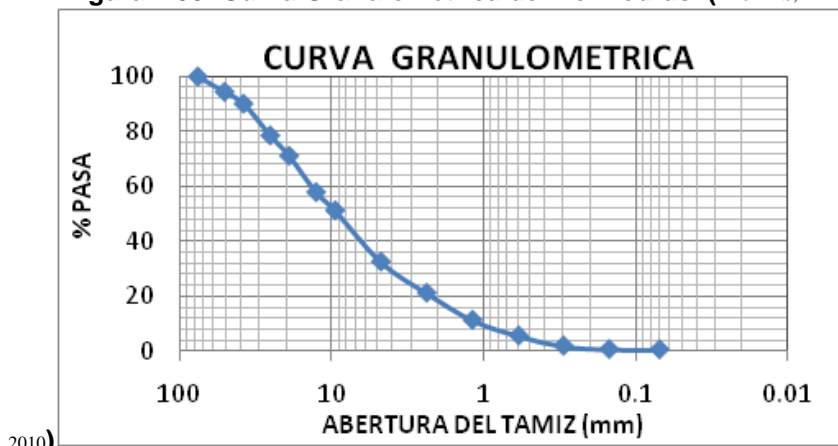
Los valores calculados de rugosidad, mostrados a continuación, fueron calculados bajo los criterios expuestos en la sección: Rugosidad del cauce (coeficiente de Manning)

En esta sección se realiza una explicación de la metodología de cálculo para la obtención de las rugosidades en el cauce de río y en las llanuras de inundación.

Cabe recalcar que las curvas granulométricas para cada sección fueron obtenidas a partir de pruebas de laboratorio para así obtener los diferentes diámetros medios de partícula.

Un ejemplo de curva granulométrica se presenta en la Figura 4.30 perteneciente al río Piedras y en la Tabla 4.6 se presentan los diámetros característicos para el río Piedras.

Figura 4.30: Curva Granulométrica del río Piedras. (PROMAS,



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Tabla 4.6: Tabla de diámetros Característicos para el río Piedras

DIAMETROS CARACTERISTICOS (mm)

D90=	38.10	GW-GS
D50=	9.07	
D40=	6.61	
D35=	5.29	
d10	1.05	
d30	4.23	
d60	13.72	
Cu	13.05923867	
Cg	1.241278507	

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En la Tabla 4.7 se realiza un resumen de los tamaños medios, D_{50} de las muestras tomadas en campo para todos los ríos, juntos sus coordenadas UTM WGS84 17sur.

Tabla 4.7: Diámetros Característicos.

Sitio	Diámetros Característicos	
	D 35 (mm)	D 50 (mm)
Bulubulu	4.52	7.54
Río Piedras	5.29	9.07
Río Patúl	4.76	9.52
Río Cañar Puerto Inca	0.98	2.01
Río Cañar (11km debajo de Puerto Inca)	0.49	0.63

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Cabe recalcar que la rugosidad fue calculada en base las condiciones de la zona, es decir a la vegetación, granulometría, etc., obteniendo así los diferentes factores de corrección (n_1, n_2, n_3, n_4, m), por lo q habrá rugosidad tanto para el cauce como para la llanura.

Luego de haber obtenido los factores de corrección finalmente se obtiene la rugosidad final, calculada para cada una de las secciones transversales analizadas en el presente trabajo. La fórmula que se utilizó fue:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

Tabla 4.8: Valores del Coeficiente de Manning.

VALORES DEL COEFICIENTE DE MANNING										
Estación	Clasificación SUGS	d50 (mm)	nb USGS	n Strickler	n1	n2	n3	n4	m	n
Bulubulu	GW-GS	7.54	0.024	0.027	0.001	0.001	0	0	1	0.026
Cañar	GW-GS	2.01	0.024	0.021	0.001	0.005	0.004	0	1	0.034
Patúl	GW-GS	9.52	0.024	0.028	0.001	0.005	0.004	0	1	0.034

Piedras	GW-GS	9.07	0.024	0.027	0.001	0.005	0.004	0	1	0.034
----------------	-------	------	-------	--------------	-------	-------	-------	---	---	--------------

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Es necesario recalcar que los valores de sinuosidad calculados para meandros desarrollados en el río Cañar están en el rango de [1, 1.2] por lo que al igual que los demás ríos se asumió un valor de 1.

En la Tabla 4.8 se presentan los valores preliminares para el cálculo numérico para los perfiles de flujo en los ríos del proyecto.

Los valores preliminares de coeficiente de Manning para las llanuras de inundación están dados de acuerdo con Yen (1991) que recomienda un valor típico de 0.05 para planicie de inundación con pocos matorrales.

4.7.4 Coeficientes de contracción y expansión.

Una causa común de pérdida de energía dentro de un tramo (entre dos secciones transversales) es la contracción y expansión de flujo debido a cambios en la sección transversal. El programa utiliza los coeficientes de contracción y expansión para determinar las pérdidas de energía entre dos secciones contiguas. Los autores para una transición gradual aconsejan 0.1 (contracción) y 0.3 (expansión), mientras que en las proximidades de un puente pueden ser, respectivamente de 0.3 y 0.5 o mayores, por la mayor pérdida de energía. Los coeficientes son multiplicados por la diferencia absoluta de velocidades entre una sección transversal y la siguiente sección aguas abajo, las cuales dan las pérdidas de energía debido a la transición.

4.8 DETERMINACION DE ZONAS DE RIESGO DE INUNDACION

Luego de haber procesado los datos en el HECRAS, los resultados obtenidos son nuevamente exportados al ArcGIS para obtener los mapas de inundación que se muestran en el capítulo 5. ANÁLISIS & INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

CAPITULO 5. ANÁLISIS & INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LOS RÍOS

5.1.1 Descripción de la Nomenclatura del HEC-RAS

Es importante conocer la nomenclatura que usa el software puesto que el modelo trabaja únicamente en lenguaje inglés, para evitar confusiones en los resultados ya que estos obedecen a abreviaturas en dicho idioma.

A continuación se presenta el significado de la nomenclatura utilizada por el modelo:

E.G. Elev (m): Línea de la Gradiente de Energía para un perfil hidráulico dado.

W.S.Elev (m): Perfil hidráulico calculado a partir de la Ecuación de la Energía.

Crit W.S. (m): Altura crítica. Altura de agua correspondiente a la energía mínima en la curva energía vs profundidad.

E.G. Slope (m/m): Pendiente de la línea de gradiente de energía.

Q Total (m³/s): Caudal total en una sección transversal

Top Width (m): Ancho del canal tomando como referencia la superficie del agua.

Vel Total (m/s): Velocidad promedio del flujo total de una sección transversal.

Max Chl Dpth (m): Máxima Profundidad del canal.

Conv. Total (m^3/s): Capacidad de Transporte total de la sección transversal.

Length Wtd (m): Longitud del tramo entre dos secciones transversales.

Min Chl El (m): Elevación mínima del canal.

Frctn Loss (m): Pérdida de energía entre dos secciones transversales.

C & E Loss (m): Pérdidas por contracción y expansión entre dos secciones transversales.

Wt. n-Val: Valor de la rugosidad n de Manning.

Flow Area (m^2): Área de flujo de la sección transversal.

Hydr. Depth (m): Altura hidráulica.

Wetted Per. (m): Perímetro mojado.

Shear (N/m^2): Tensión cortante.

Stream Power ($N/m\ s$): Poder Hidráulico.

Cum Volume ($1000\ m^3$): Volumen acumulado de agua, medido desde el extremo final aguas abajo hasta una sección transversal dada.

Cum SA($1000\ m^2$): Área acumulada de la superficie de agua, medida desde el extremo final aguas abajo hasta una sección transversal dada.

Froude # Chl: Número de Froude del canal.

5.1.2 Descripción de los Resultados.

Consideraciones hidráulicas aplicadas adoptadas para el análisis del modelo.

Se analizarán los siguientes aspectos:

Secciones transversales para cada cambio de flujo.- En las gráficas que se presentan para el análisis de esta sección se pueden apreciar las áreas de flujo que corresponden al caudal analizado en la dirección del flujo. Estas áreas son directamente proporcional al caudal medido en ese punto e inversamente proporcional a la velocidad.

Perfiles de flujo para visualizar el comportamiento en las zonas de control.- Se analizó el comportamiento del río a lo largo de su tramo, ya sea flujo subcrítico o supercrítico. Se mostraran los gráficos que contienen los perfiles hidráulicos calculados por el modelo HEC RAS, visualizados en cada una de los cambios de analizadas en el Sistema Hídrico.

Curvas de gasto en puntos de interés (zonas de control).- Las curvas de Gastos son gráficos que representan la descarga de un río o un canal, en función de la elevación del agua en un punto dado.

El modelo HEC RAS realiza los cálculos de la curva de Gasto, para cada una de la secciones Transversales que intervienen en el Sistema Hídrico de los ríos.

El disponer de curvas de Gasto o de Descarga, resulta de gran utilidad en el análisis de un río, ya que permite inferir el caudal de gasto conociendo solo la elevación de la superficie de agua.

Debe recordarse que cuando el régimen no se permanente y se desee deducir el caudal a partir de las curvas de gasto, se le deben hacer correcciones dependiendo de las causas que provoquen que el régimen no sea permanente.

Estos ajustes o correcciones principales son por:

- Variación de la sección de control (sección transversal)
- Por el paso de una crecida
- Por el efecto de remanso

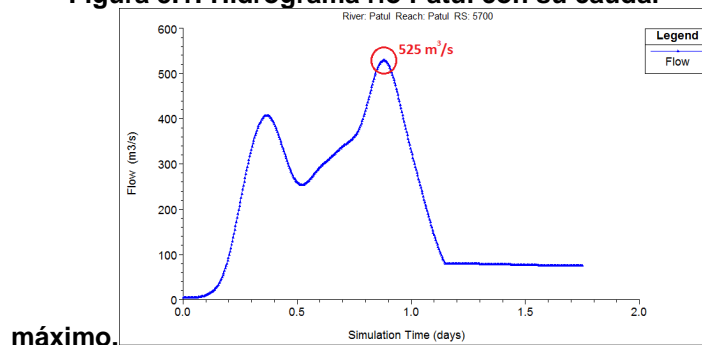
5.1.2.1 RIO PATUL

En el río Patúl se tomaron las siguientes condiciones:

Flujo: Permanente y Mixto.

Caudal: 525 m³/s

Figura 5.1: Hidrograma río Patúl con su caudal



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Condición Aguas Abajo: Pendiente de Fricción aguas abajo: 0.02

Condición Aguas Arriba: se estimó la energía específica donde la altura del flujo es igual a la altura Crítica.

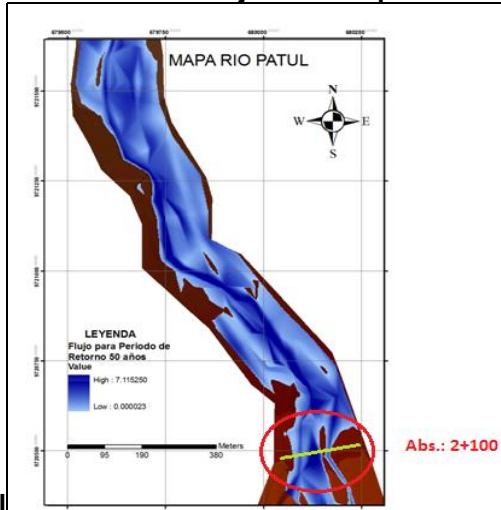
Rango de los valores de Manning [0.026, 0.03]

Resultados gráficos y tabulares.

Los resultados tabulares se presentan en la tabla en capítulo 8: ANEXOS, MAPAS Y PLANOS (Ver Tabla 8.3: Resultados tabulares del modelo río Patúl.)

Secciones transversales para cada cambio de flujo.

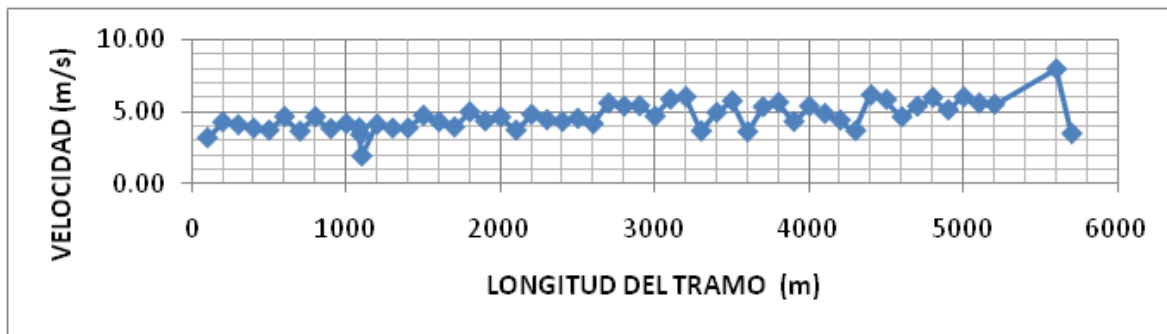
Figura 5.2: Perfil de flujo máximo para el río



Patúl

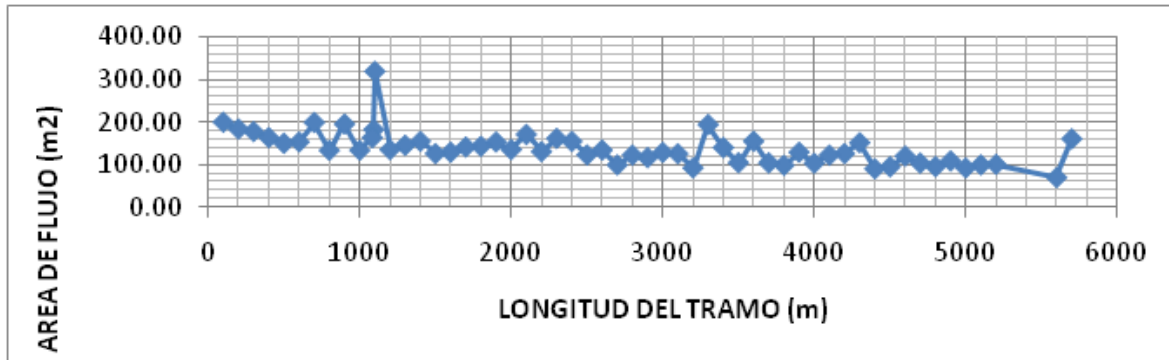
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.3: Velocidades a lo largo del río Patúl



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

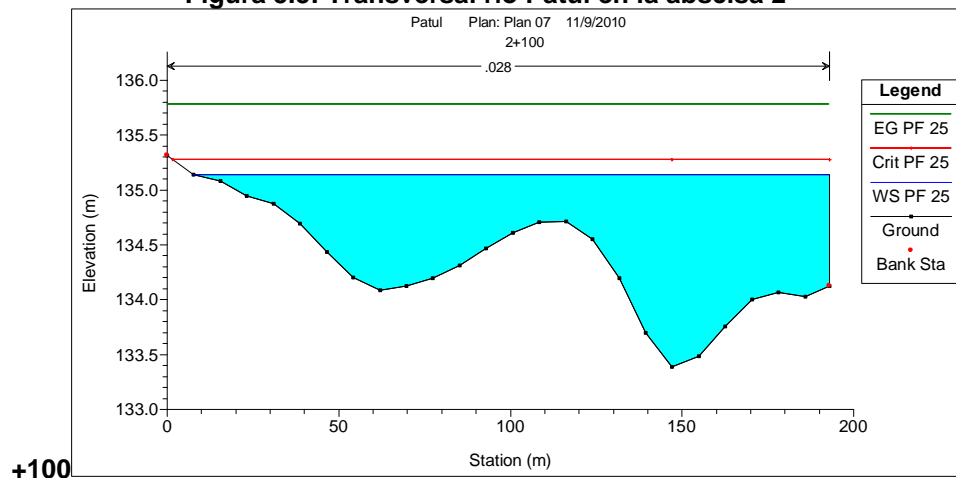
Figura 5.4: Áreas de flujo a lo largo del río Patúl



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La relación existente entre la velocidad y el caudal en un río se lo representa en las gráficas de la Figura 5.3y Figura 5.4, específicamente en la sección de la abscisa 1100, donde existe un incremento de área de flujo, es decir, de caudal y una disminución de velocidad.

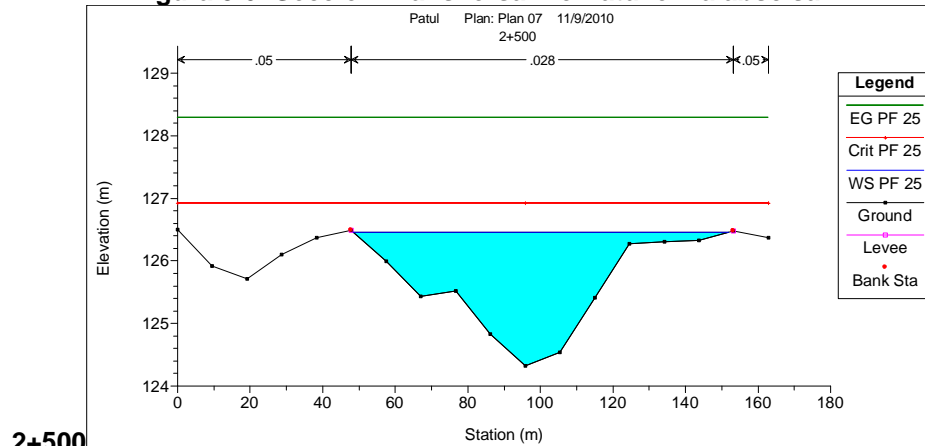
Figura 5.5: Transversal río Patúl en la abscisa 2-



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Analizando el flujo se puede observar que desde la abscisa 2+100 (Figura 5.5) el río empieza a presentar un desborde mínimo, es decir, solo en algunas secciones, desde la abscisa 3+700 hasta su abscisa final (5+600) se aprecia el desbordamiento total del río. Todas estas áreas afectadas se las considera como zonas de riesgo, pues son llanuras de inundación. (Ver Figura 5.7)

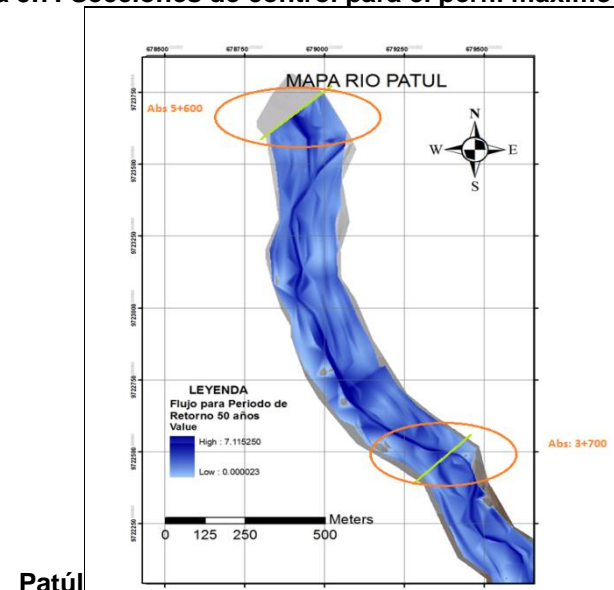
Figura 5.6: Sección Transversal río Patúl en la abscisa



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La Figura 5.6 muestra que el río luego de haber tenido un desbordamiento en sus secciones anteriores, el flujo vuelve a tomar su cauce normal, hasta desbordarse nuevamente.

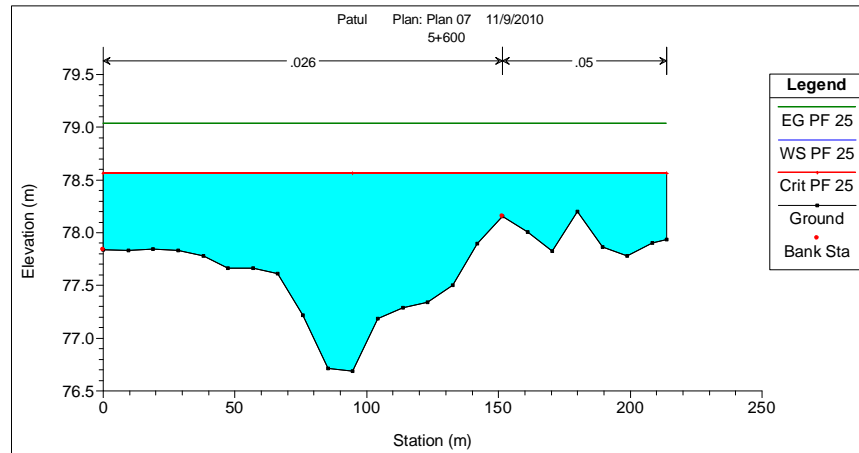
Figura 5.7: Secciones de control para el perfil máximo en el río



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En la Figura 5.7 se aprecia que la lámina de agua se extiende por toda la llanura de inundación, y con una profundidad aproximada de 1.50 metros medida desde el fondo del río como se ve en la la Figura 5.8: Sección Transversal río Patúl en la abscisa 5+600

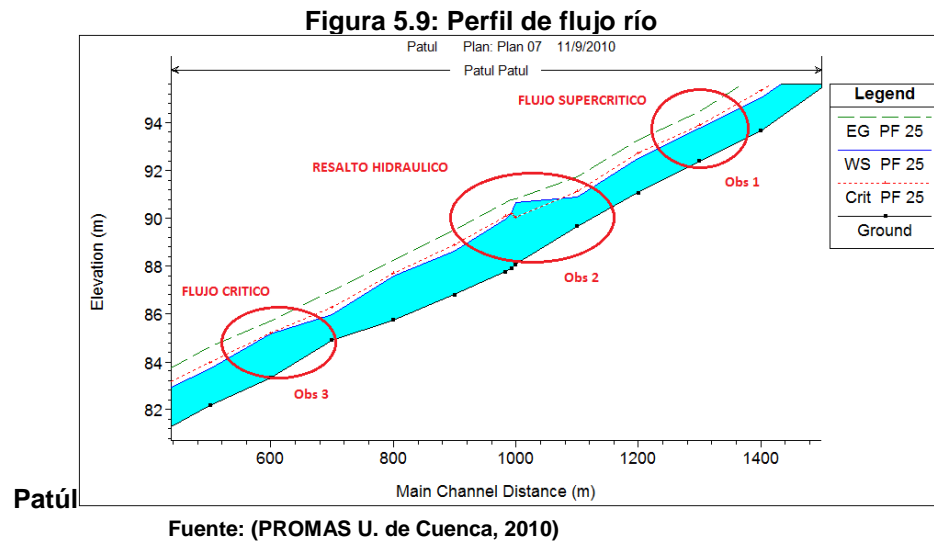
Figura 5.8: Sección Transversal río Patúl en la abscisa 5+600



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

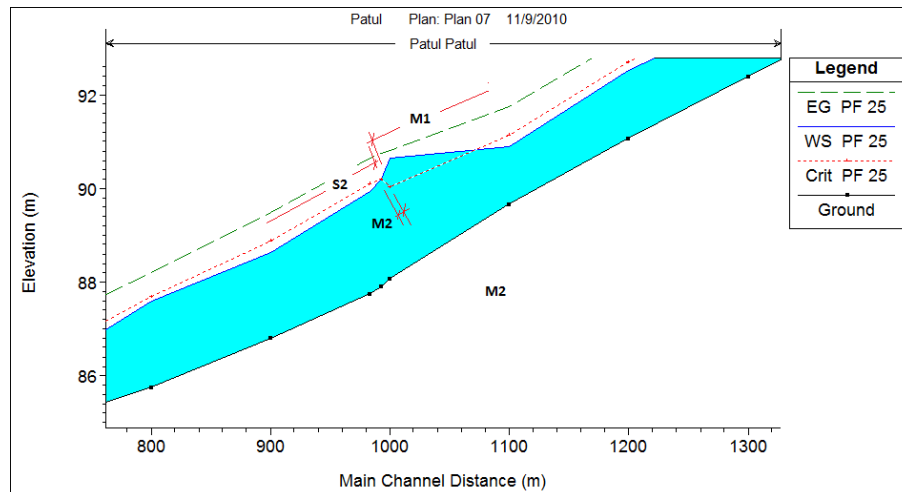
Perfiles de flujo para visualizar el comportamiento en las zonas de control.

En esta sección se incluyen los perfiles hidráulicos calculados por el modelo, graficados a lo largo de las longitudes de cada tramo del río.



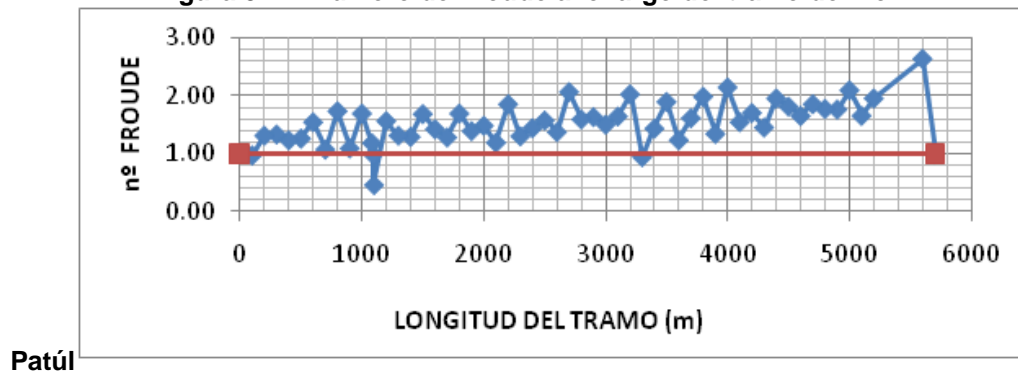
En la Figura 5.9: Perfil de flujo río Patúl se los muestra los diferentes tipos de flujo presentes en el río Patúl.

Figura 5.10: Apreciación visual de los tipos de perfil.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.11: Número de Froude a lo largo del tramo del río



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Se presenta la gráfica de la Figura 5.9: Perfil de flujo río Patúl, donde se observan varios comportamientos del río.

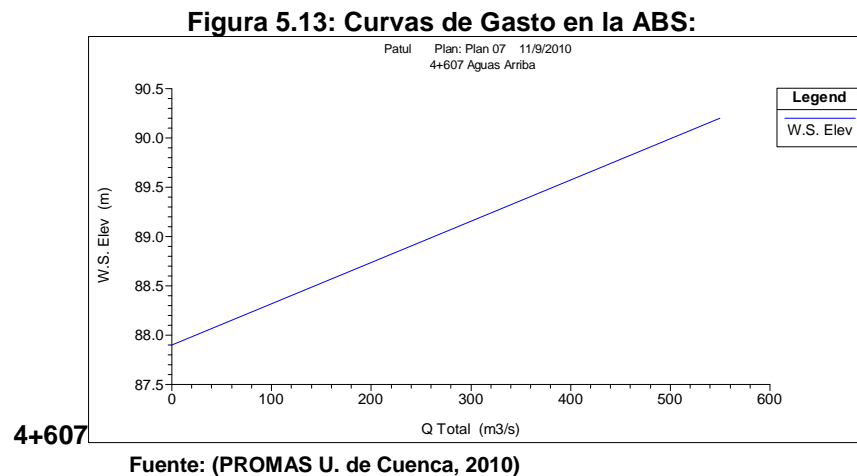
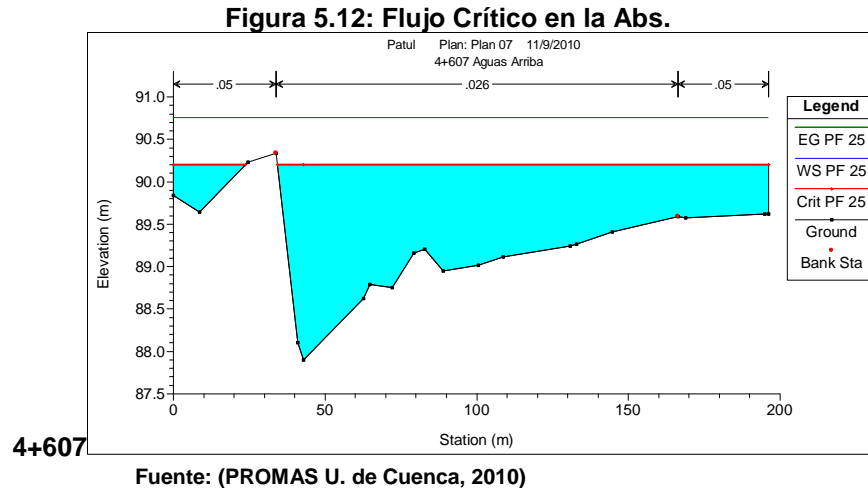
En la OBS 1 se aprecia que el perfil de este río en la mayor parte del tramo presenta un flujo supercrítico ($Fr > 1$), debido a que el río posee una pendiente pronunciada. Este análisis se lo puede ver con mayor claridad en la Figura 5.11 que muestra el número de Froude correspondiente a cada sección a lo largo del tramo.

En la OBS 2 (Figura 5.10) se puede notar que la profundidad del flujo aguas abajo es mayor que la profundidad del flujo aguas arriba, se aprecia visualmente un cambio de perfiles de M1 a M2 a S2 por lo que se considera como un Resalto Hidráulico.

En la OBS 3 el flujo Crítico se presenta en 5+500, donde la energía específica es mínima, siendo propicio para la sedimentación.

Curvas de gasto en puntos de interés (zonas de control)

En la Figura 5.13 se muestra la curva de gasto en una sección que presenta flujo crítico, puesto el flujo es independiente de la pendiente del canal. Los datos de las elevaciones de agua mostrados en estas curvas se derivan de los cálculos realizados a partir de cotas sobre el nivel del mar (msnm).



5.2 En la sección de ANEXOS, MAPAS Y PLANOS en la RIO PATUL

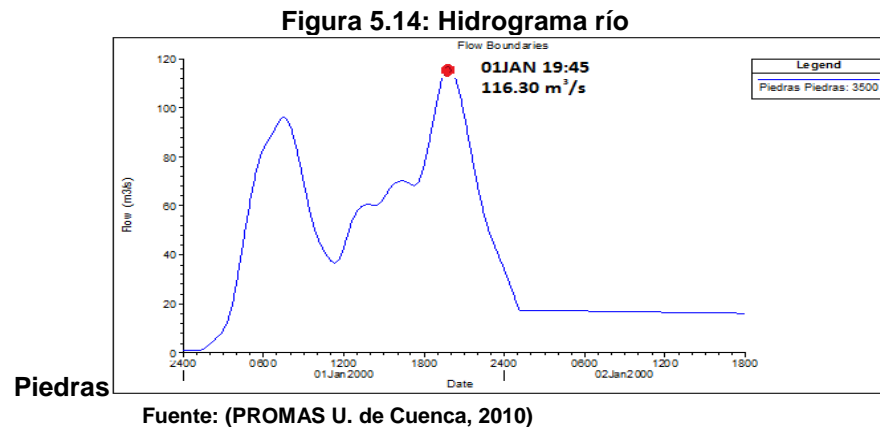
Figura 8.1: MAPA DE INUNDACIONES RIO PATUL, claramente se observa que la capacidad del Río para un caudal de $550 \text{ m}^3/\text{s}$ no es suficiente, por lo que existe un desbordamiento total del flujo en la parte inferior del tramo.

5.2.1.1 RIO PIEDRAS

En el río Piedras se tomaron las siguientes condiciones:

Flujo: NO Permanente y Mixto

Condición Aguas Arriba: se tomó en cuenta el Hidrograma de la Figura 5.14. correspondiente a un periodo de 50 años de retorno y se analizó con su máximo caudal:



Condición Aguas Abajo: Pendiente de Fricción aguas abajo: 0.03

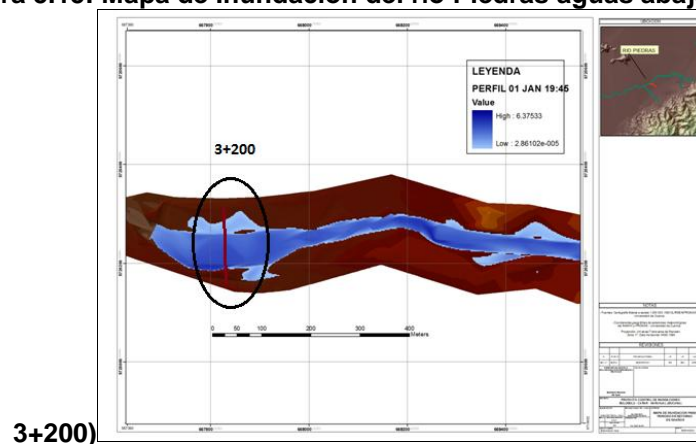
Rango de los valores de Manning: [0.028, 0.036]

Resultados Gráficos y Tabulares

Los resultados tabulares se presentan en la tabla en capítulo 8: ANEXOS, MAPAS Y PLANOS (Ver Tabla 8.4: Resultados tabulares del modelo río Piedras.)

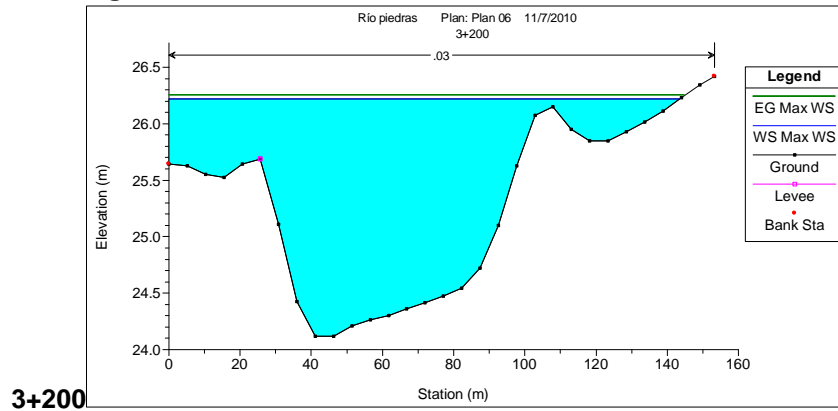
Las siguientes gráficas muestran secciones junto con su ubicación en el mapa donde existe un cambio de velocidad o un desbordamiento.

Figura 5.15: Mapa de Inundación del río Piedras aguas abajo (Abs



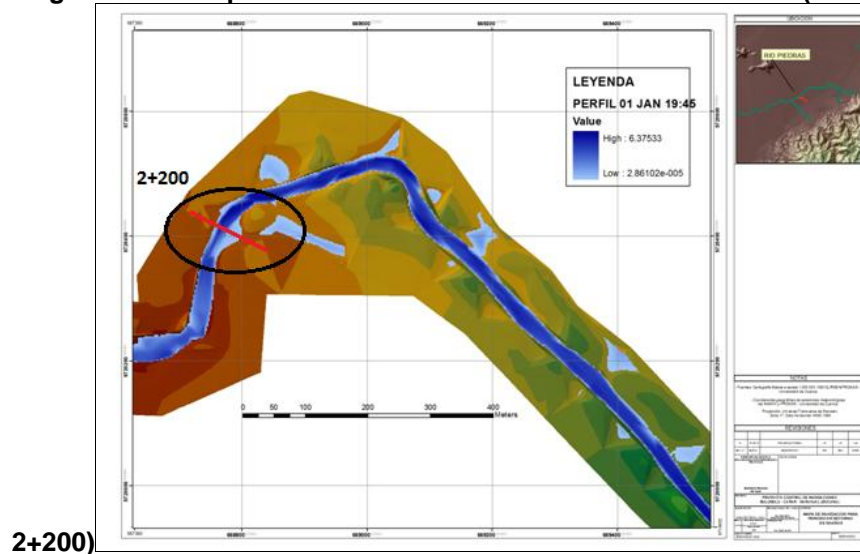
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.16: Sección Transversal río Piedras en la Abs.



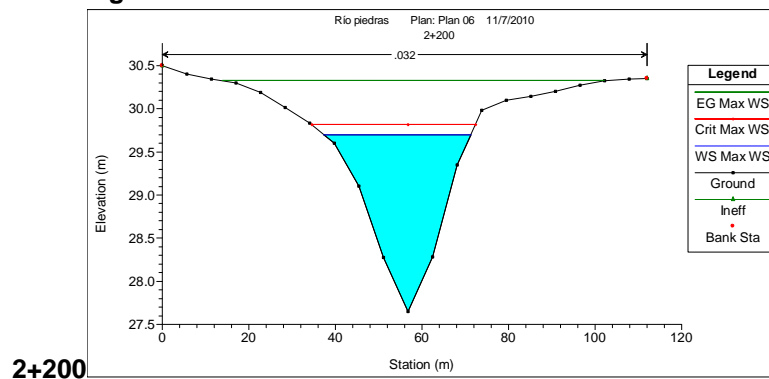
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.17: Mapa de Inundación en el centro del río Piedras (Abs



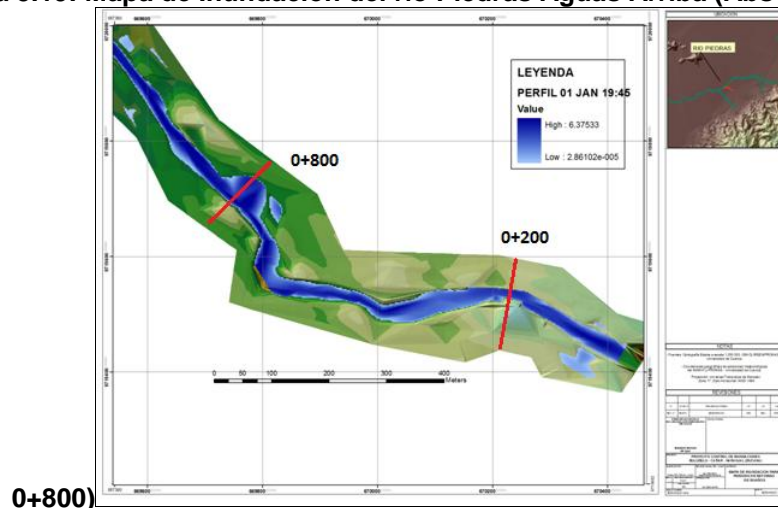
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.18: Sección Transversal río Piedras Abs.



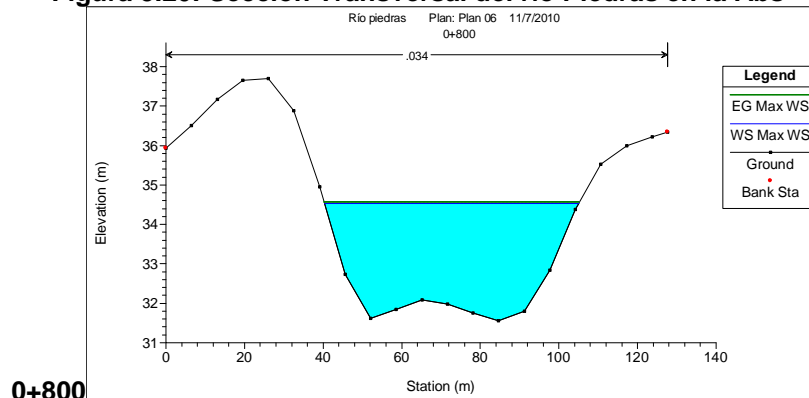
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.19: Mapa de Inundación del río Piedras Aguas Arriba (Abs 0+200 y



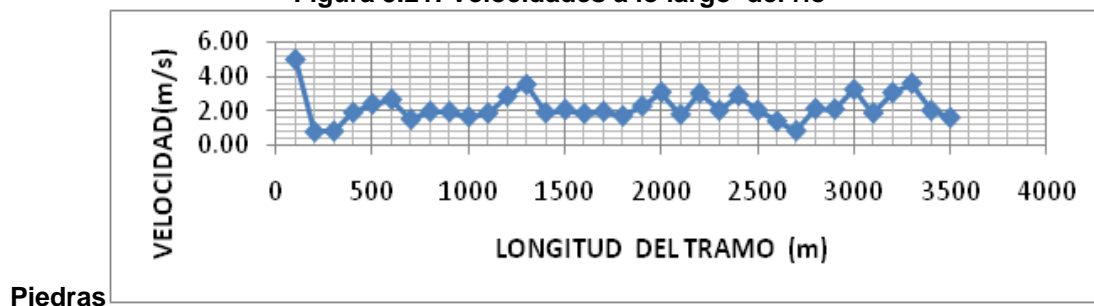
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.20: Sección Transversal del río Piedras en la Abs



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.21: Velocidades a lo largo del río

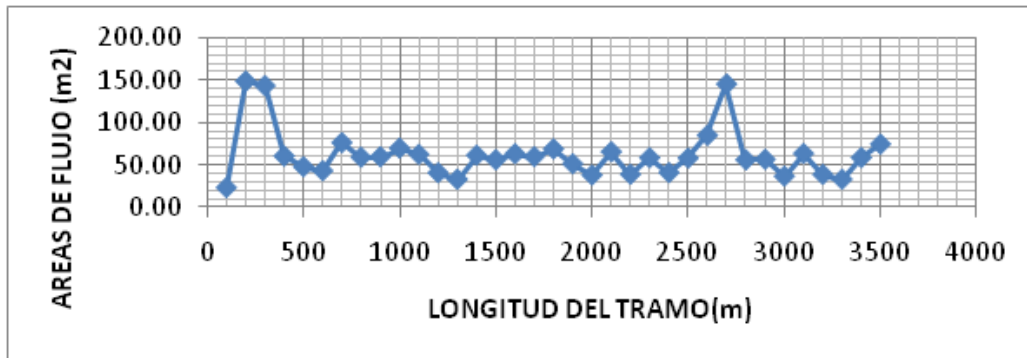


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La Figura 5.21 compara de forma más rápida las velocidades de cada sección a lo largo del tramo del río Piedras, tomando conclusiones rápidas y concretas como

por ejemplo que la sección 0+100 tiene una velocidad de alrededor de 5 m/s. Puesto que la sección posee la máxima velocidad, esta debe poseer la mínima área de flujo con un valor aproximado de 20 m², comparada con la mayor que es de 150 m².

Figura 5.22: Áreas de flujo a lo largo del río Piedras

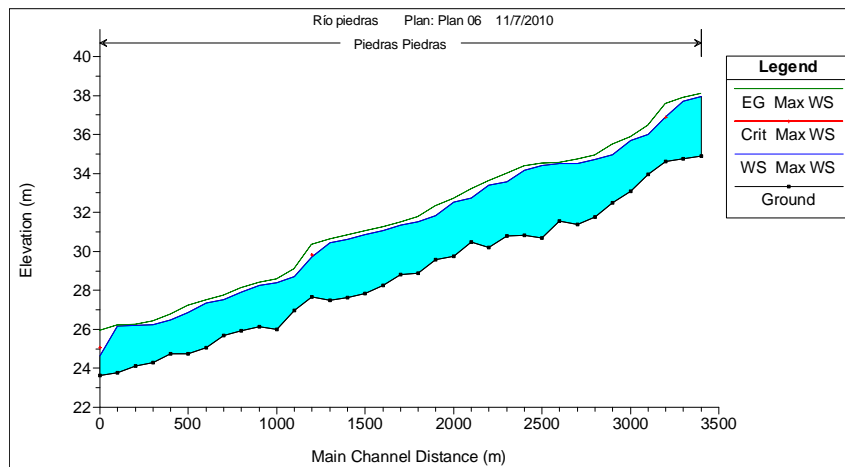


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Perfiles de flujo para visualizar el comportamiento en las zonas de control.

En esta sección se incluyen los perfiles hidráulicos calculados por el modelo, graficados a lo largo de las longitudes de cada tramo de los ríos.

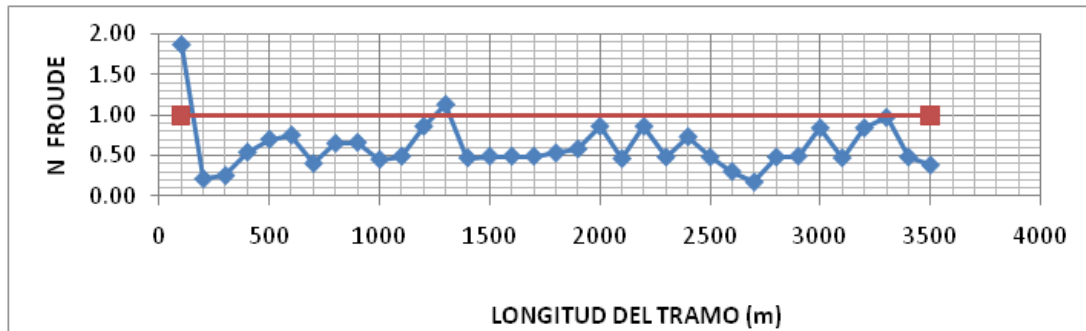
Figura 5.23: Perfil de flujo en el río Piedras.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Como ayuda para determinar el tipo de flujo a lo largo del río, se procede a obtener la Figura 5.24 que presenta los números de Froude a lo largo del afluente.

Figura 5.24: Número de Froude a lo largo del río Piedras

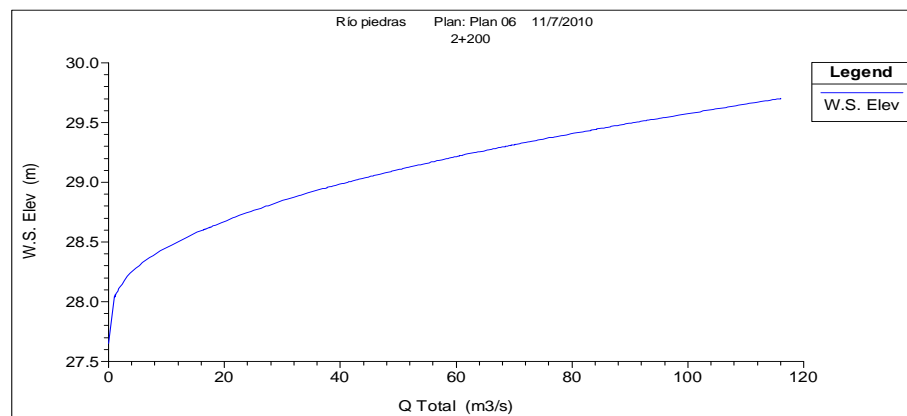


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Gracias a la Figura 5.24 se concluye que el 94% de las secciones tiene un flujo subcrítico.

Curvas de gasto en puntos de interés (zonas de control).

Figura 5.25: Curva de Gasto en la Abs. 2+200.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La curva de gasto para el río Piedras presenta un cambio de forma parabólica lo que es diferente para el río Patúl que posee un cambio constante entre elevación y caudal.

En la sección ANEXOS, MAPAS Y PLANOS en la RIO PIEDRAS

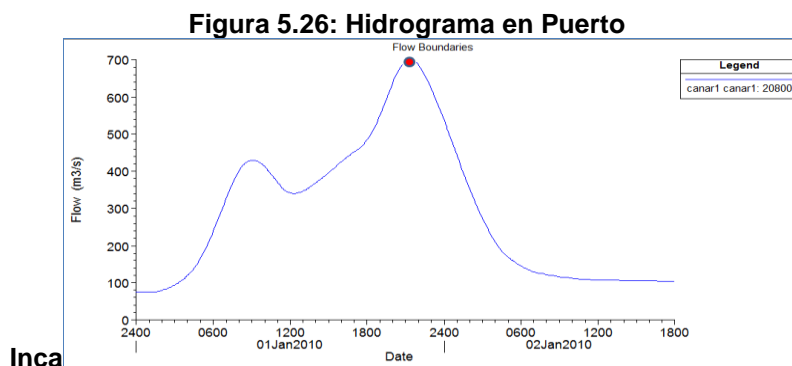
Figura 8.2: MAPA DE INUNDACIONES RIO PIEDRAS, se muestra claramente que los desbordamientos son mínimos ya que la capacidad de transporte del flujo en el cauce es similar a los $116.4 \text{ m}^3/\text{s}$ que es el máximo caudal registrado en el histograma para un periodo de 50 años de retorno.

5.2.1.2 RIO CAÑAR

Debido a las condiciones morfológicas del Río Cañar en el tramo Puerto Inca - Descarga, se puede encontrar una pendiente mucho más baja que en el tramo inicial antes de Puerto Inca. Es así que el régimen de flujo puede llegar a estar controlado por las condiciones de frontera aguas abajo en el caso de presentarse un régimen de flujo subcrítico. En el modelo hidráulico del Río Cañar tramo puerto Inca - Descarga se tomaron las siguientes condiciones:

Flujo: No Permanente y Mixto

Condición Aguas Arriba: Hidrograma correspondiente a un periodo de 50 años de retorno, con el fin de obtener resultados para la mayor sollicitación en dicho evento. En la Figura 5.26 se observa que el caudal que produce la mayor sollicitación es de $660 \text{ m}^3/\text{s}$.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Condición Aguas Abajo: La pendiente de fricción igual a 0.001

Rango de los valores de Manning: [0.021 0.034]

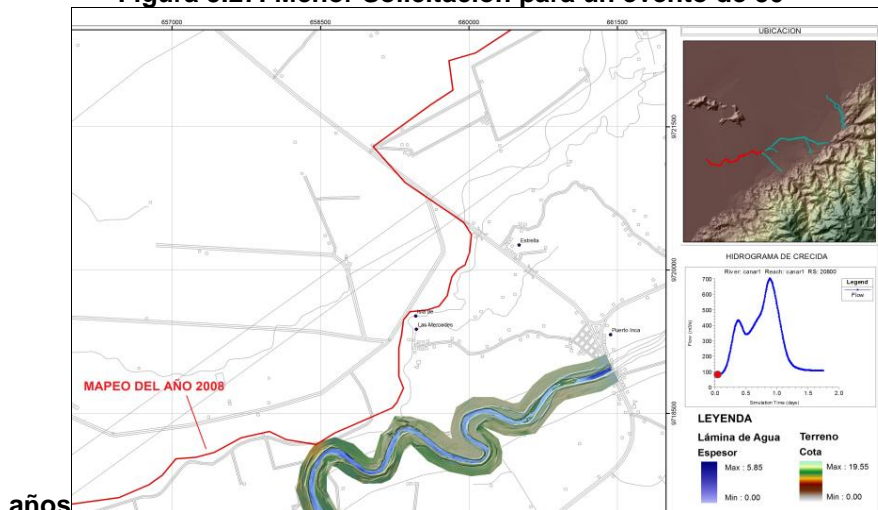
Resultados Gráficos

Los resultados tabulares se lo presentan en el capítulo 8 ANEXOS, MAPAS Y PLANOS (Tabla 8.5: Resultados tabulares del modelo río Cañar)

Secciones transversales para cada cambio de flujo.

De acuerdo con el Mapeo de Inundaciones correspondiente al año 2008 elaborado por la SENAGUA en el marco del Proyecto Control de Inundaciones Bulubulu - Cañar - Naranjal (BUCANAR), en la zona del puente (Ver Figura 5.27 y Figura 5.28) se presenta una expansión del espejo de agua cubriendo una mayor área. Este efecto se debe a que el puente representa una obstrucción, de esta forma hace que el flujo requiera mayor sección hidráulica.

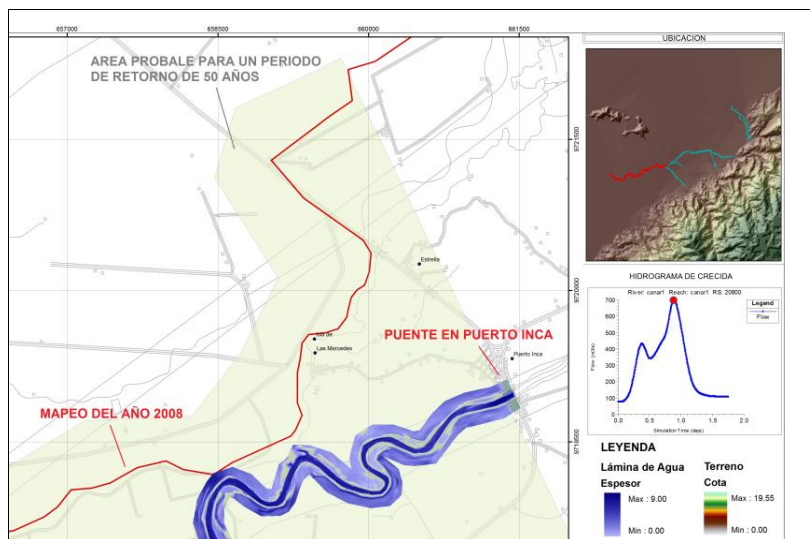
Figura 5.27: Menor Solicitación para un evento de 50



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En la Figura 5.28 se indica el nivel del espejo de agua ante la máxima solicitud del evento con 50 años de periodo de retorno. El flujo se da completamente por las llanuras con profundidades de 0 a 5m. El polígono transparente es una proyección del área inundada en base al mapeo de inundaciones realizado por la SENAGUA.

Figura 5.28: Mayor Solicitación para un Evento de 50años de Retorno

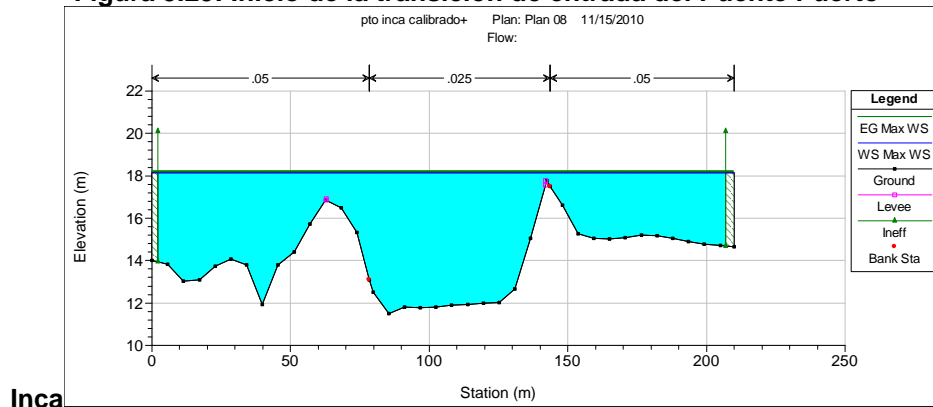


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En las secciones próximas al puente (Ver Figura 5.29 y Figura 5.30), la superficie del agua se eleva para obtener mayor carga hidráulica. En las zonas muertas o zonas inefectivas también se produce esta elevación, hasta llegar a los puntos donde sobrepasa la cota del terreno, esos puntos corresponden a las mínimas cotas de terraplén de la vía o también lugares donde no existe terraplén. De esta

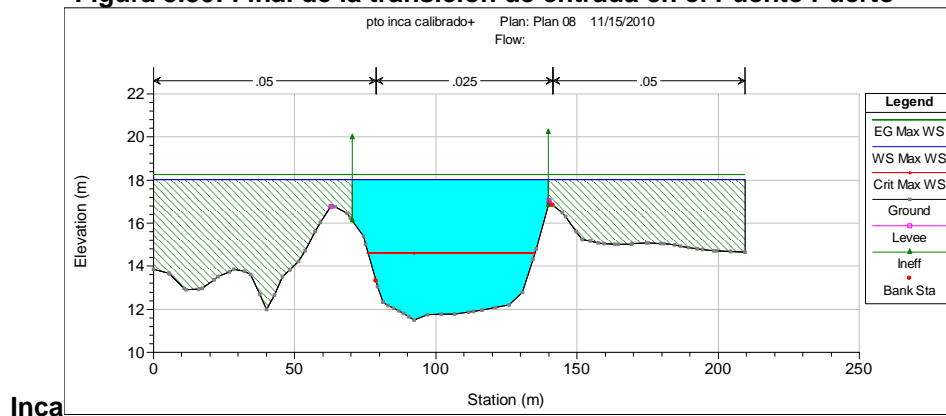
forma el flujo se llega a extender en todo lo ancho de la llanura adyacente al cauce.

Figura 5.29: Inicio de la transición de entrada del Puente Puerto



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

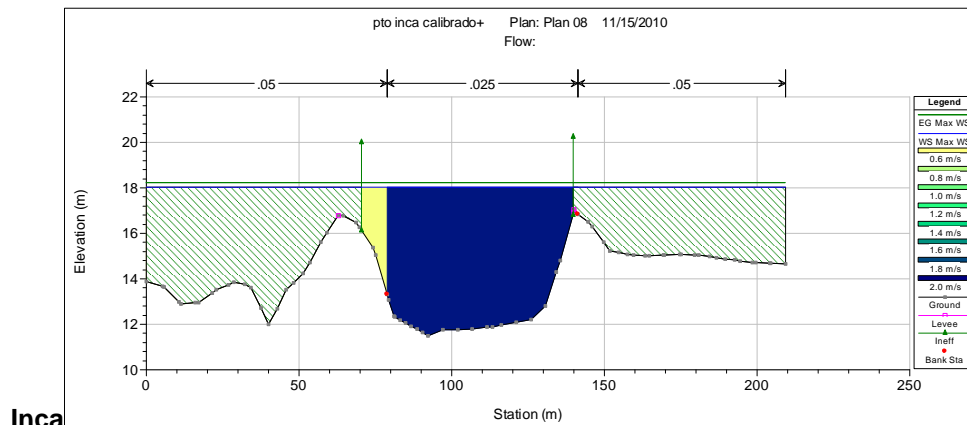
Figura 5.30: Final de la transición de entrada en el Puente Puerto



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

El efecto de contracción en el puente hace que la velocidad sea mayor, incrementando el riesgo en las proximidades. En la sección aguas arriba cercana al puente la velocidad en el cauce alcanza un valor de 2m/s, pero disminuye hacia aguas arriba.

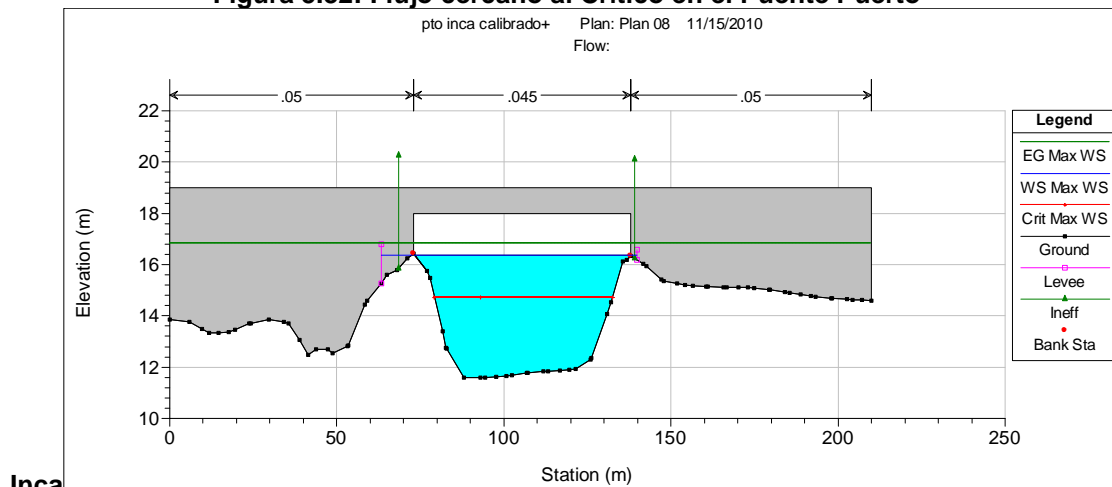
Figura 5.31: Velocidades de flujo en la sección de entrada del Puente Puerto



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

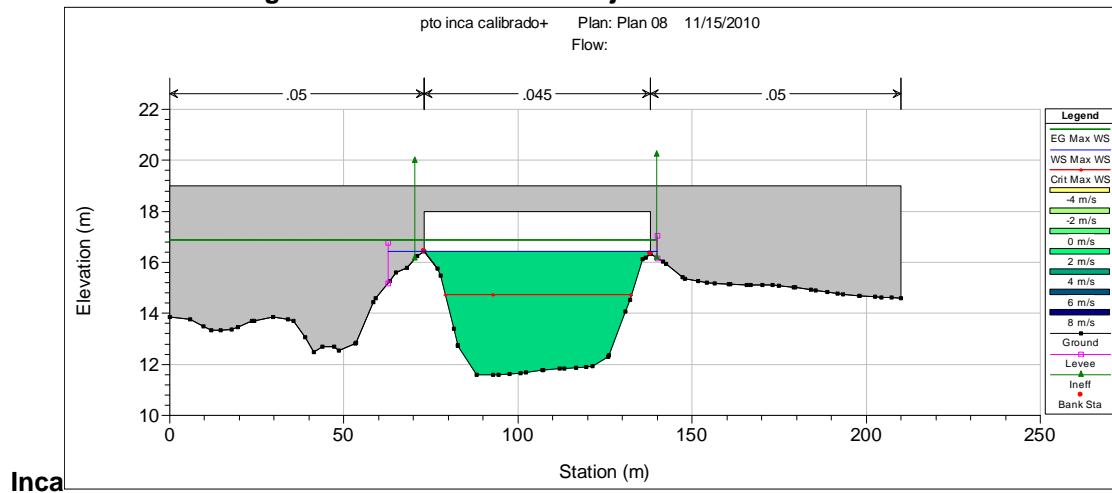
En la sección del puente Figura 5.33, la velocidad alcanza su mayor valor cercano a los 4m/s, es en este lugar donde se dan los efectos de socavación de las estructuras, por lo que es importante conocer esta magnitud.

Figura 5.32: Flujo cercano al Crítico en el Puente Puerto



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

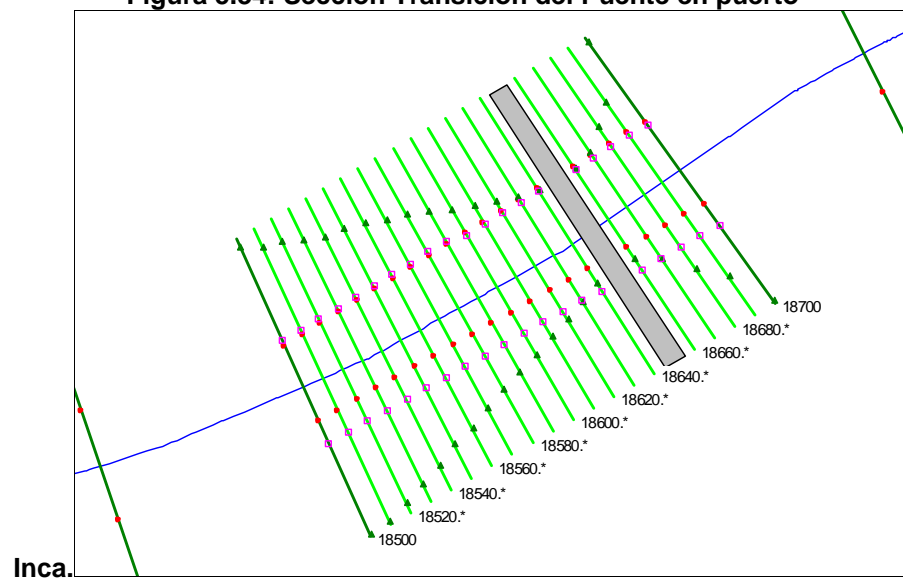
Figura 5.33: Velocidad de Flujo en el Puente Inca



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En la Figura 5.34 se presenta la transición del puente Puerto Inca. En las zonas muertas laterales a las zonas de contracción se produce el ensanchamiento de la lámina de agua.

Figura 5.34: Sección Transición del Puente en puerto

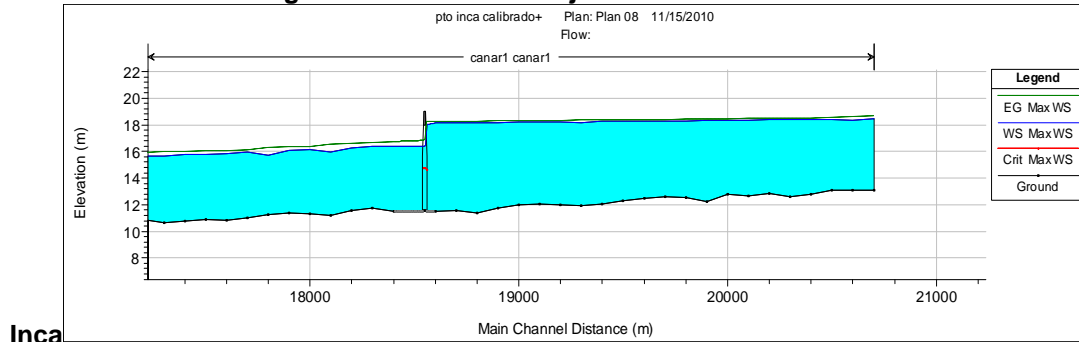


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Perfiles de flujo para visualizar el comportamiento en las zonas de control.

En la Figura 5.35 se observa la contracción del calado, por efecto del puente ubicado en el sector de Puerto Inca. A lo largo de todo el perfil se observó que el flujo se da a régimen subcrítico.

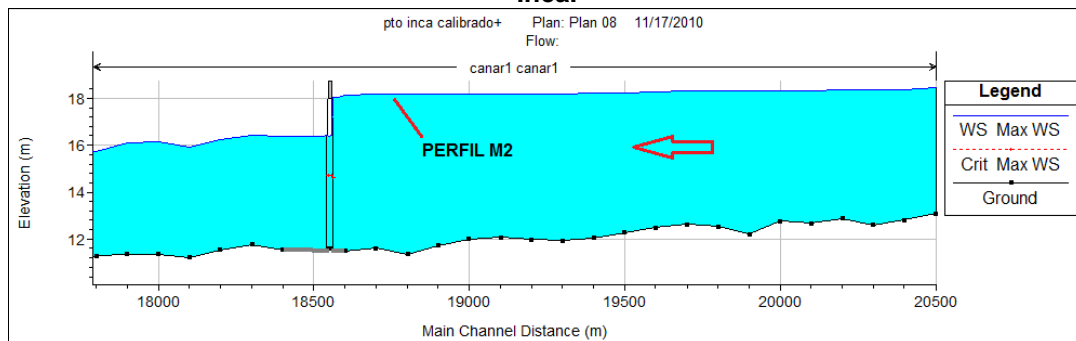
Figura 5.35: Perfil de Flujo en el Puente de Puerto



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

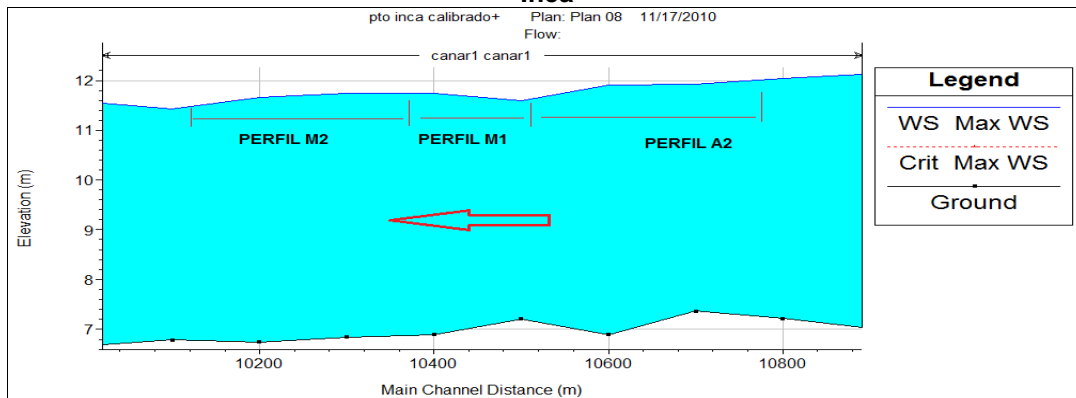
Otro aspecto a considerar son los perfiles de flujo que se forman, los cuales influyen en el diseño de las estructuras laterales con diferentes propósitos. A continuación se presentan los perfiles típicos que se dan en el Río Cañar.

Figura 5.36: Perfil M2 aguas arriba de la zona de control del Puente Puerto Inca.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.37: Perfiles típicos que dependen de la pendiente de fondo del Tramo Puerto Inca

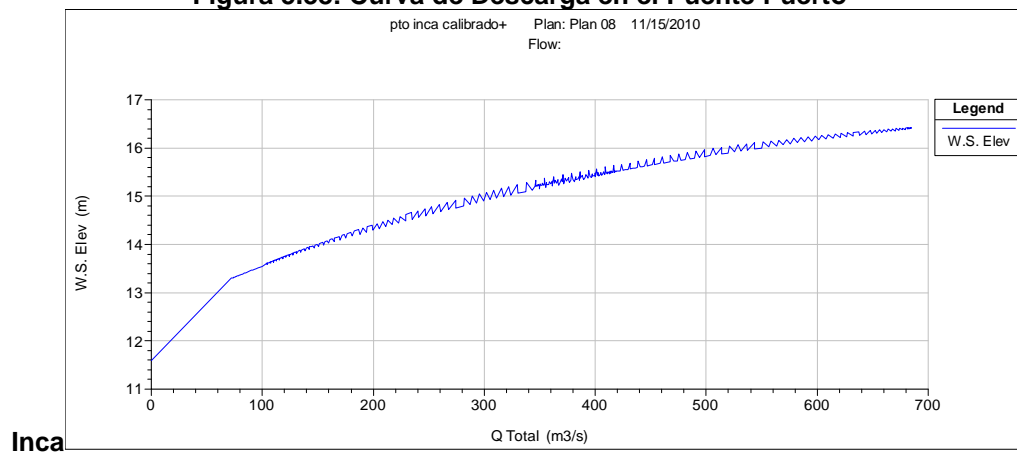


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Curvas de gasto en puntos de interés (zonas de control)

Otra característica importante que se debe conocer en la sección del puente es la curva de descarga de la Figura 5.38 calculada para el evento, donde prácticamente se obtienen datos con mejor mayor resolución y se puede utilizar para un rango de caudales dentro del evento establecido en la simulación hidráulica.

Figura 5.38: Curva de Descarga en el Puente Puerto

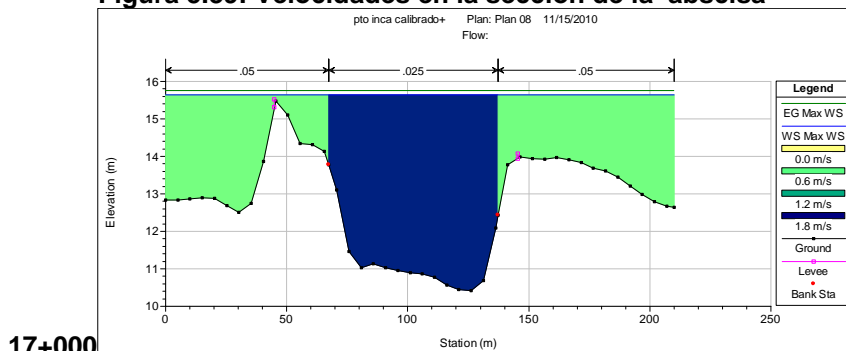


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Otros parámetros importantes a considerar al momento de realizar encauzamientos de los ríos, obras de protección en curvas son las velocidades y curvas de descarga en dichas secciones.

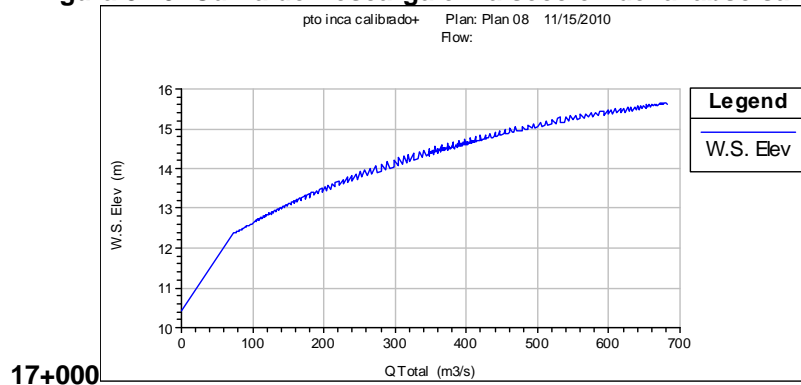
A continuación se describe el comportamiento del flujo en algunas secciones de interés a través de las velocidades y curvas de descarga.

Figura 5.39: Velocidades en la sección de la abscisa



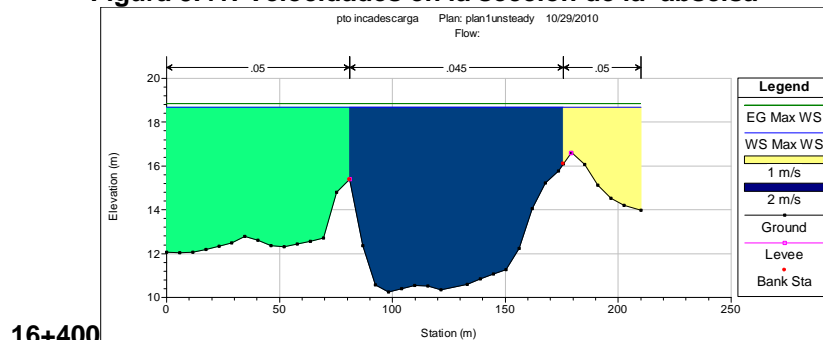
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.40: Curva de Descarga en la sección de la abscisa



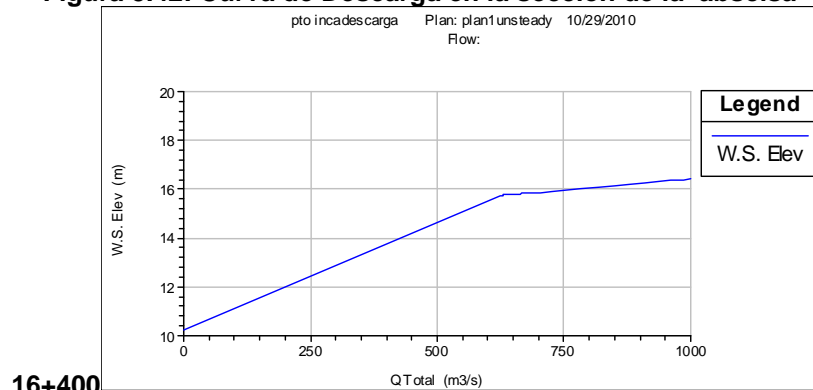
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.41: Velocidades en la sección de la abscisa



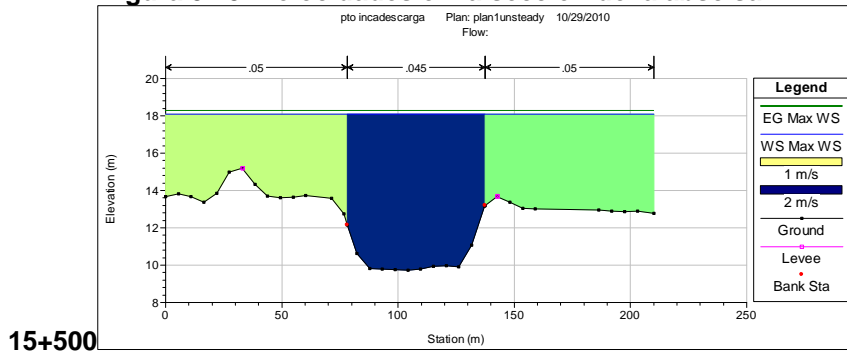
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.42: Curva de Descarga en la sección de la abscisa



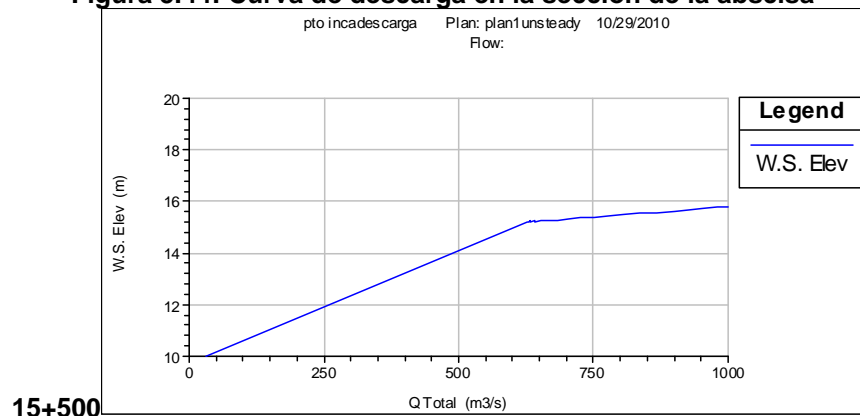
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.43: Velocidades en la sección de la abscisa



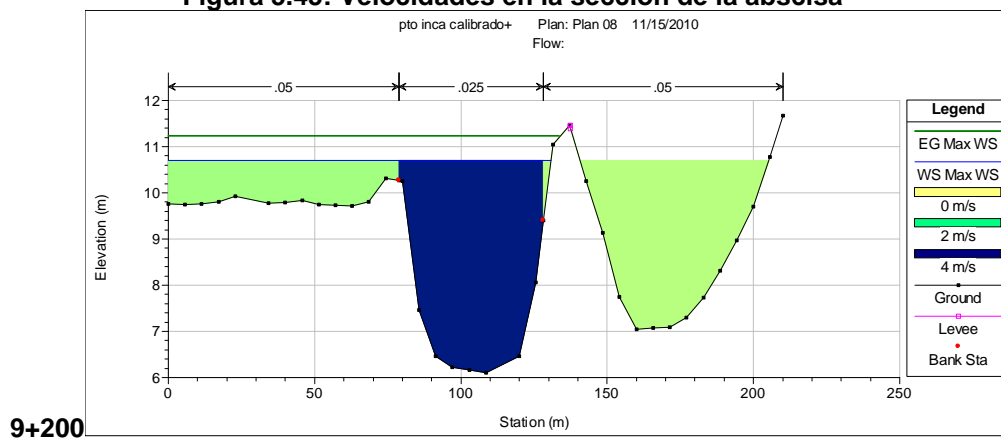
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.44: Curva de descarga en la sección de la abscisa



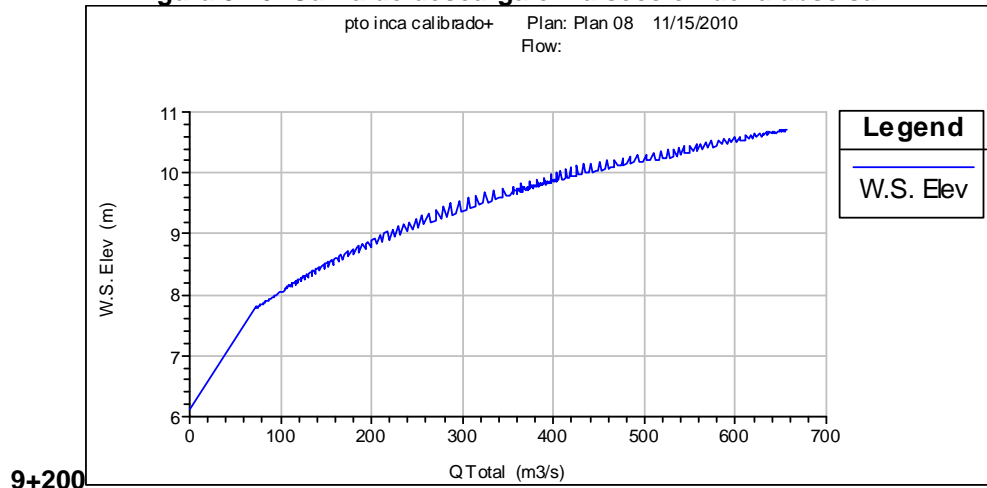
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.45: Velocidades en la sección de la abscisa



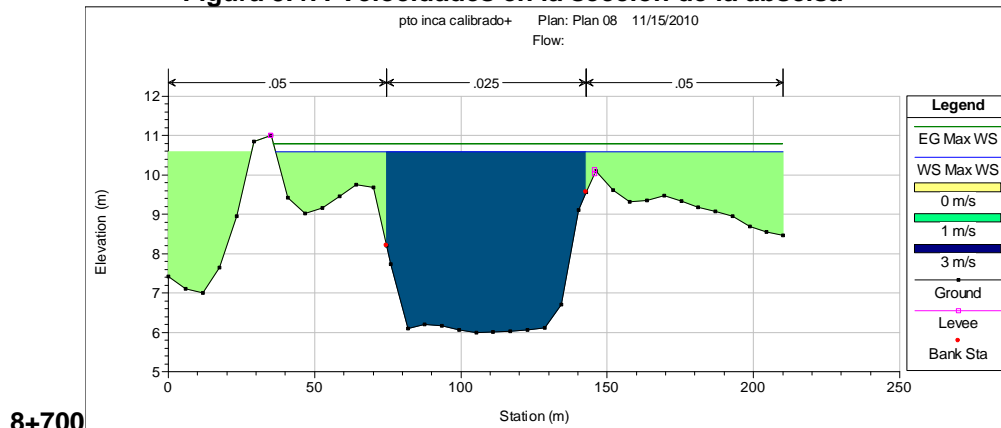
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.46: Curva de descarga en la sección de la abscisa



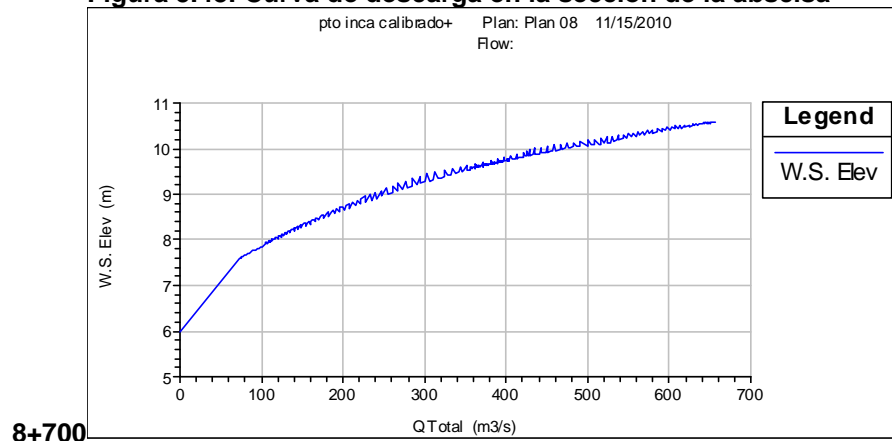
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.47: Velocidades en la sección de la abscisa



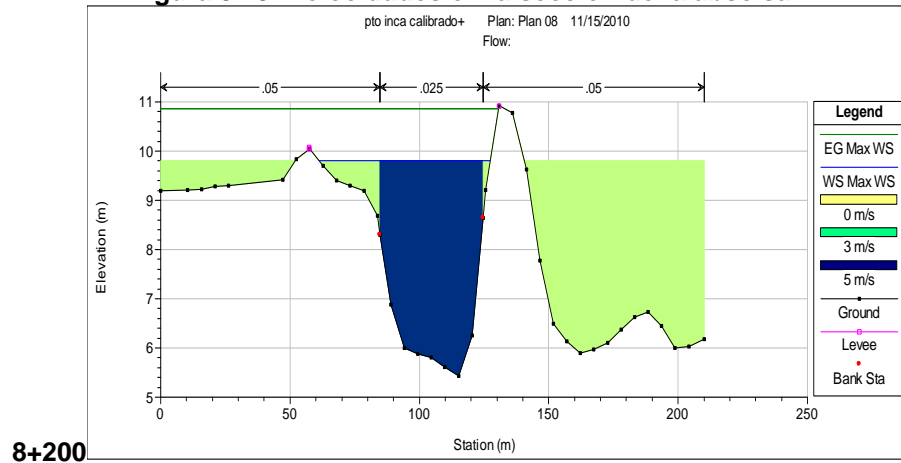
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.48: Curva de descarga en la sección de la abscisa



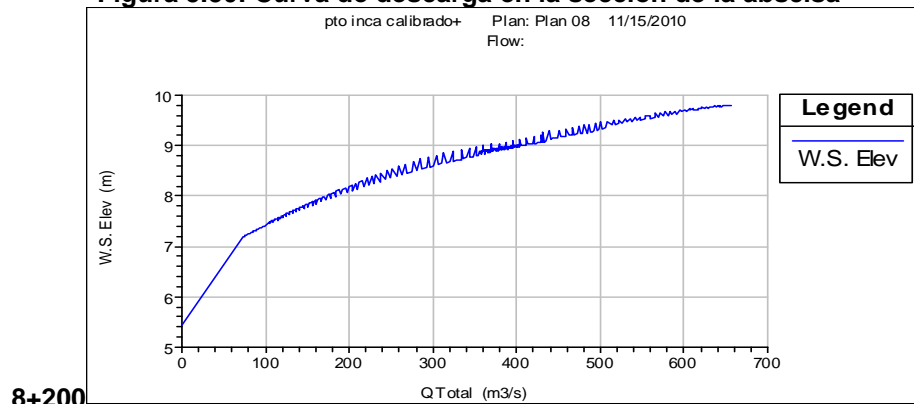
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.49: Velocidades en la sección de la abscisa



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

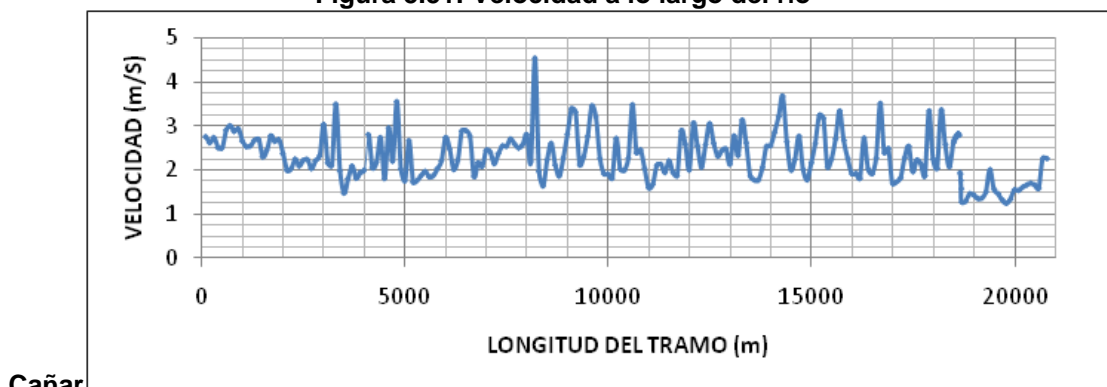
Figura 5.50: Curva de descarga en la sección de la abscisa



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

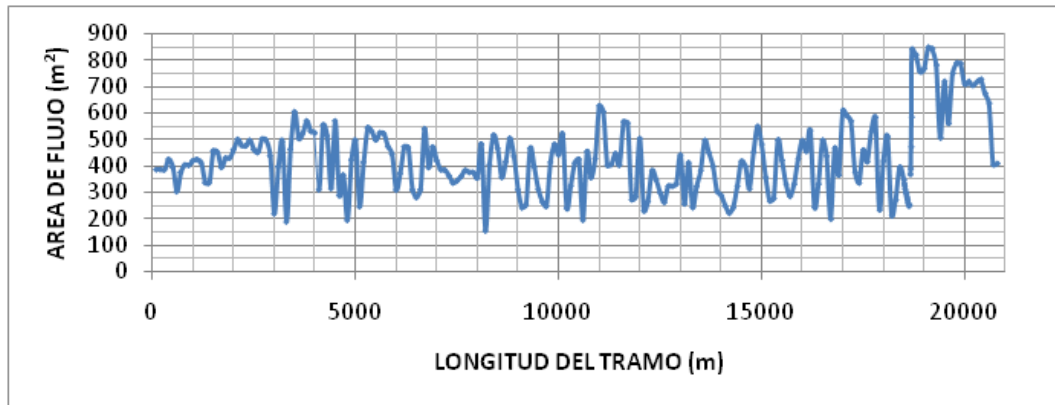
Gráficas de interés en el análisis.

Figura 5.51: Velocidad a lo largo del río



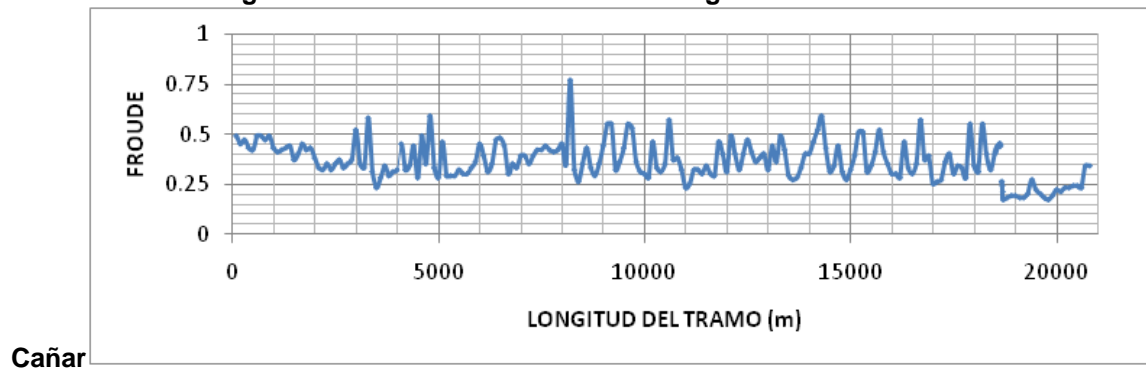
Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.52: Áreas de flujo a lo largo del río cañar



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.53: Número de Froude a lo largo del tramo del río



Cañar

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

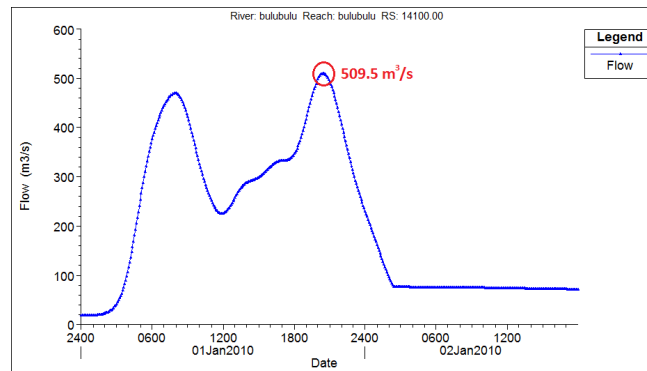
5.2.1.3 RIO BULUBULU

En el río Bulubulu se tomaron las siguientes condiciones:

Flujo: Permanente y Mixto.

Caudal: 509.5 m³/s

Figura 5.54: Hidrograma Río Bulubulu



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Condición Aguas Abajo: Pendiente de Fricción: 0.0034

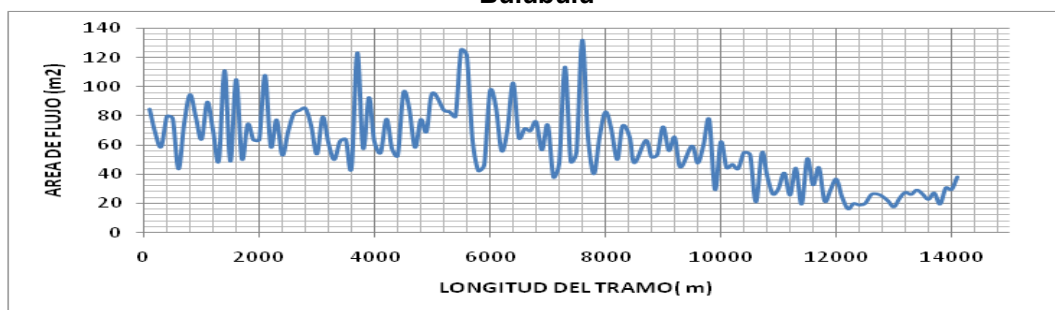
Condición Aguas Arriba: Pendiente de Fricción: 0.0021

Valor de Manning: 0.025

Resultados Gráficos.

Los resultados tabulares se lo presentan en el capítulo 8 ANEXOS, MAPAS Y PLANOS (Tabla 8.6: Resultados tabulares del Modelo RIO BULUBULU)

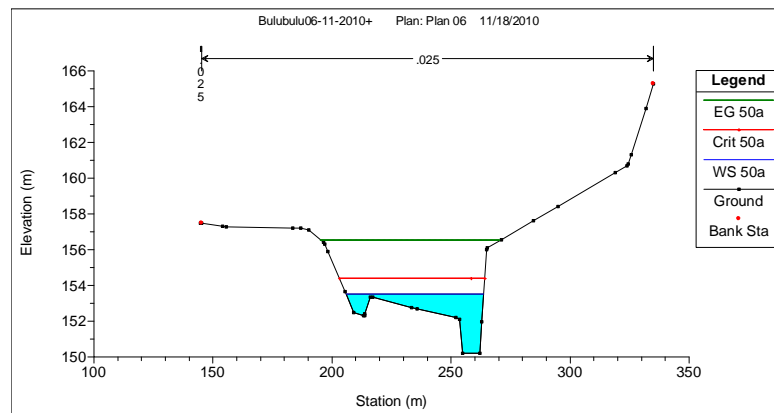
Figura 5.55: Área de flujo a lo largo del río Bulubulu



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Según la Figura 5.55 se puede apreciar cuales son las secciones con mayor y menor caudal, y deducir por tanto con menor o mayor velocidad.

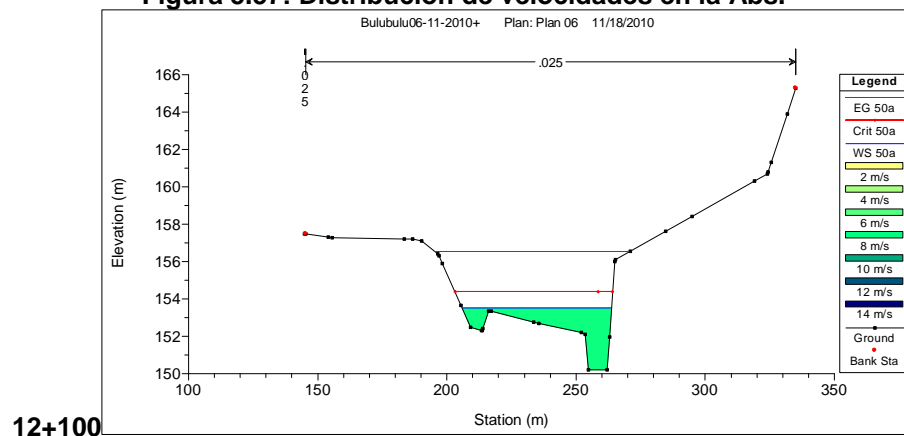
Figura 5.56: Sección transversal del río Bulubulu 12+100,



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

La Figura 5.56 muestra la sección con menor área de flujo, y esta por tanto tendrá la mayor velocidad de 7.70 m/s, según la Figura 5.57:

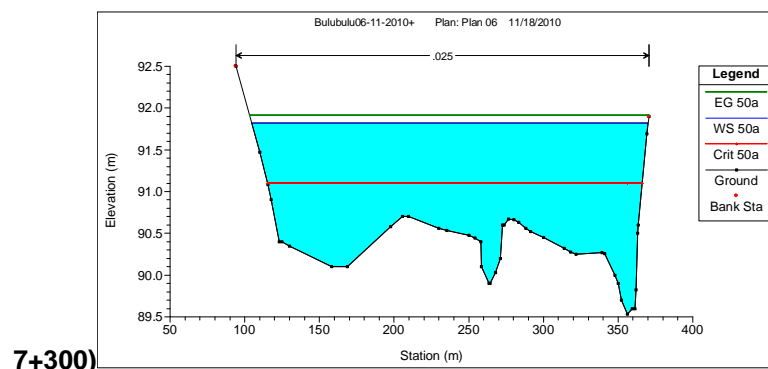
Figura 5.57: Distribución de velocidades en la Abs.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

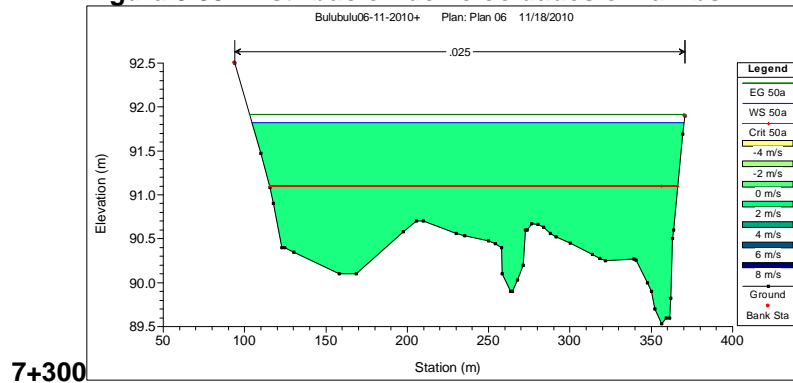
Con el mismo criterio se analizó la sección con mayor flujo:

Figura 5.58: Cambio de pendiente en el río Bulubulu (Abs.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.59: Distribución de velocidades en la Abs.

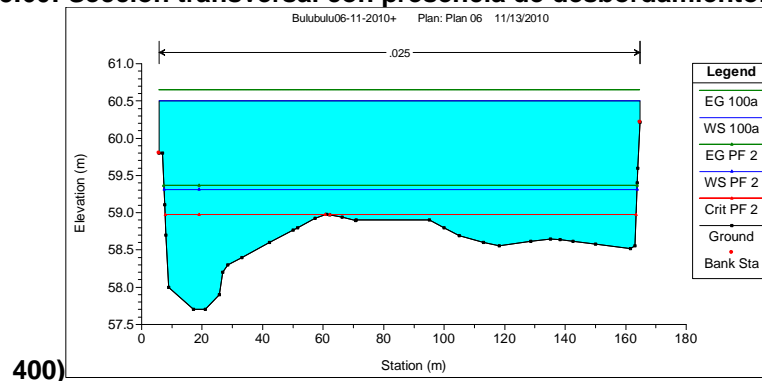


Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

De acuerdo a la Figura 5.59 la velocidad mínima es de 1.37 m/s

En el río Bulubulu la existencia de diques permite que el flujo tenga la capacidad para soportar un caudal con un periodo de 50 años de retorno como se indica en las gráficas anteriores, hasta que existe un desbordamiento. (Ver Figura 5.60)

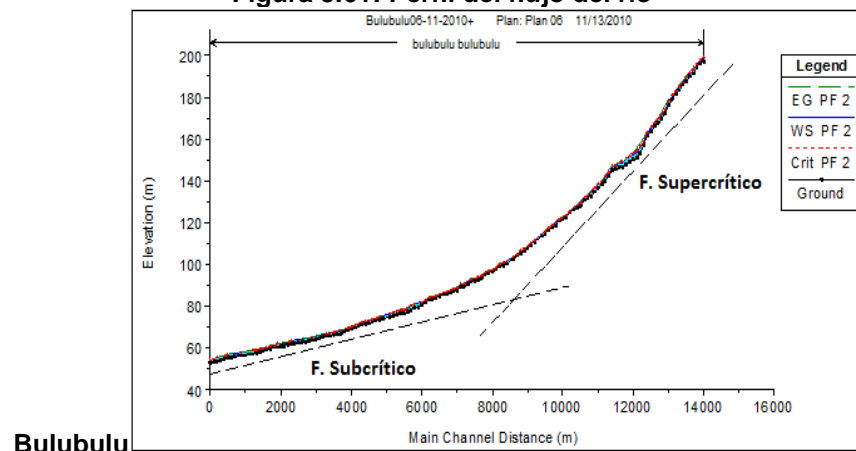
Figura 5.60: Sección transversal con presencia de desbordamiento. (Abs. 1+



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Perfiles de flujo para observar el flujo en las zonas de control.

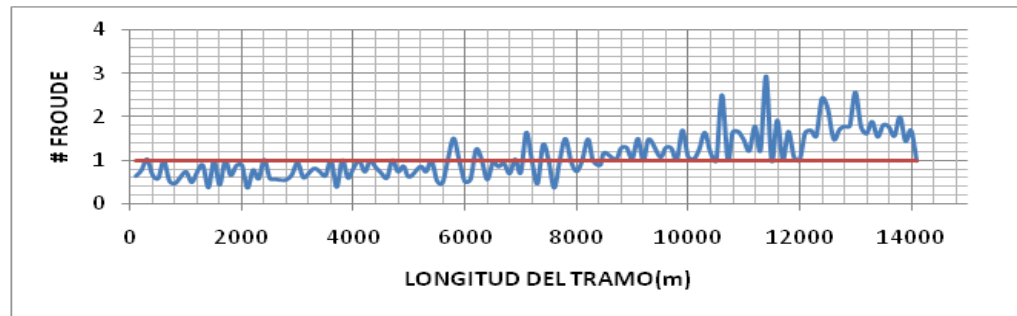
Figura 5.61: Perfil del flujo del río



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Es necesario mencionar que el Río Bulubulu empieza su análisis en zona montañosa y lo termina en zona costera, provocando que exista 2 pendientes en el perfil de flujo, provocando así el comportamiento de en un flujo supercrítico en un 58% y subcrítico en un 42%.

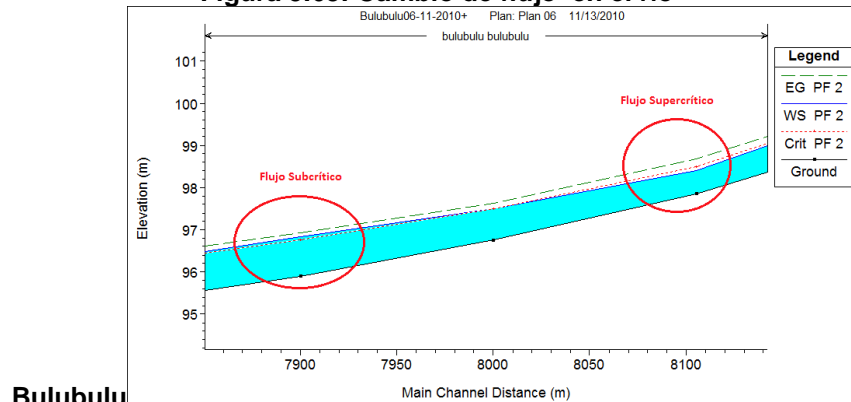
Figura 5.62: Número de Froude a lo largo del río Bulubulu.



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

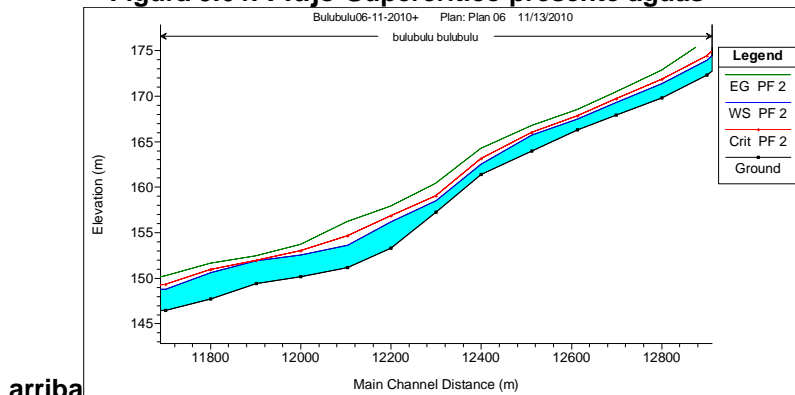
De acuerdo a la Figura 5.62 es fácil apreciar el cambio de flujo de supercrítico aguas arriba a subcrítico aguas abajo, produciéndose alrededor de la abscisa 8+000 (Ver también Figura 5.63)

Figura 5.63: Cambio de flujo en el río



Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Figura 5.64: Flujo Supercrítico presente aguas

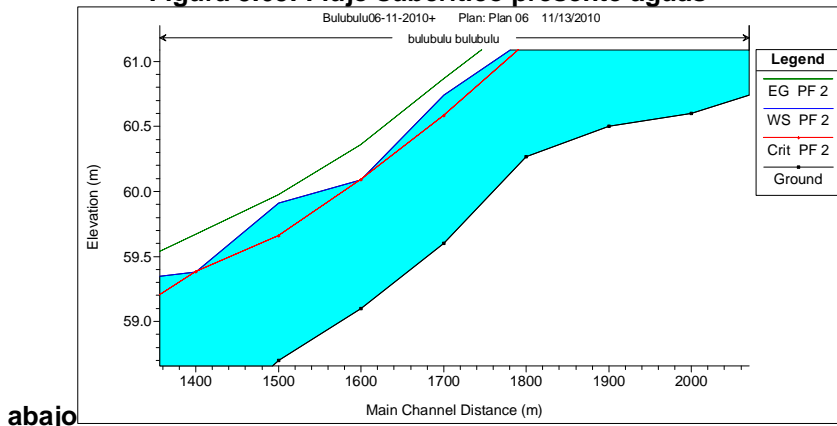


arriba

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Las Figura 5.64 y Figura 5.65 presentan el flujo supercrítico y subcrítico respectivamente.

Figura 5.65: Flujo subcrítico presente aguas

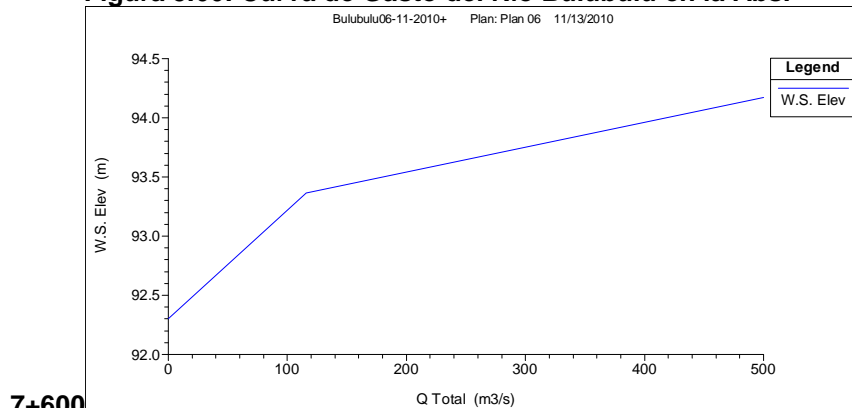


abajo

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

CURVAS DE GASTO

Figura 5.66: Curva de Gasto del Río Bulubulu en la Abs.



7+600

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

5.3 ANÁLISIS DE INUNDACIONES, ZONIFICACIÓN DE RIESGOS

Una vez generado el modelo hidráulico HEC RAS y mediante el uso de herramientas del Sistema de Información Geográfica es posible volúmenes, áreas de flujo, profundidades de flujo calcular y representar gráficamente el evento (perfil) obteniendo caudales, velocidades de flujo, para poder así dar el análisis respectivo.

Es necesario recalcar que las zonas afectadas que se obtendrán a continuación son áreas calculadas dentro de la franja topográfica de cada río, es decir, no son áreas efectivas, puesto que no se cuenta con la topografía necesaria para generar toda la extensión de la inundación probable.

Para el río Patúl se consideró un ancho del río de 20 m, por tanto con el área de flujo total del río y restando este con el área de influencia del río, se obtuvo así el área afectada, es decir el área de inundación.

Tabla 5.1: Área de inundación para el río Patúl

AREA	UNIDAD	CANTIDAD
AREA TOTAL	Ha	86.6
INFLUENCIA DEL RIO	Ha	17.4
ZONA AFECTADA	Ha	69.2

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Usando el mismo razonamiento para los demás ríos, tenemos las siguientes tablas de resumen:

Río Piedras

Tabla 5.2: Área de inundación para el río Piedras

AREA	UNIDAD	CANTIDAD
AREA TOTAL	Ha	13.6
INFLUENCIA DEL RIO	Ha	12.6
ZONA AFECTADA	Ha	1.1

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Río Cañar

Tabla 5.3: Área de inundación para el río Cañar

AREA	UNIDAD	CANTIDAD
AREA TOTAL	Ha	4992
INFLUENCIA DEL RIO	Ha	72
ZONA AFECTADA	Ha	4920

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Río Bulubulu

Tabla 5.4: Área de inundación para el río Bulubulu

AREA	UNIDAD	CANTIDAD
AREA TOTAL	Ha	423.1
INFLUENCIA DEL RIO	Ha	42.3
ZONA AFECTADA	Ha	380.8

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Para un estudio más a detalle y delimitar un área probable de inundación, se realizó un análisis en el cual la extensión del área de inundación es sensible al cambio en el nivel de terreno adyacente a la franja topográfica. Este procedimiento se realizó en vista de que no se cuenta con la topografía de toda la zona del proyecto.

El procedimiento consiste en disminuir el nivel del terreno de la topografía 1:10 000 en un intervalo de 2 metros, y se calcula el área aproximada de inundación para cada una de las condiciones mencionadas.

Previo a este procedimiento es necesario hacer una extrapolación del perfil de flujo de cada río, fuera de la franja topográfica, de forma que cubra toda la mayor parte del área que se desea analizar. Ver Figura 8.5.

Tabla 5.5: Comprobación de n de manning

Estación	d50 (mm)	Clasificación SUGS	Clasificación Wenworth	Tipo Flujo	Fr medio	Forma de Fondo	n Manning	FIGURA 2.41
Bulubulu	7.54	GW-GS	Grava Fina	Mixto	1.11	Dunas y Antidunas	0.025	c, g
Cañar	2.01	GW-GS	Grava Muy Fina	Subcrítico	0.45	Dunas	0.021 - 0.036	c
Patúl	9.52	GP-GS	Grava Mediana	Supercrítico	1.56	Antidunas	0.026 - 0.030	g
Piedras	9.07	GW-GS	Grava Mediana	Subcrítico	0.61	Dunas	0.028 - 0.036	c

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

En la Tabla 5.5 se presenta los diámetros característicos, obtenidos de la curvas granulométricas proporcionadas por PROMAS U. de Cuenca, se muestra también la clasificación SUGS, la cual toma en cuenta la gradación del material y su coeficiente de uniformidad (Tabla 8.2: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), que permite obtener una descripción más amplia del tipo del material comparando con la clasificación de Wenworth que solo toma para sus análisis el diámetro característico del material (Ver Tabla 2.3: Escala de Wenworth). La Tabla 2.4 Coeficiente de Manning y Formas de Fondo y la Figura 2.41: Formas de fondo, fueron de ayuda para la verificación de que los coeficientes de manning utilizados en el modelo sean representativos de la rugosidad que depende de la forma del cauce los ríos de estudio

CAPITULO 6. CONCLUSIONES

- Como estuvo previsto, se implementó el modelo Hidráulico HEC-GeoRAS para el comportamiento del flujo en los ríos vinculados al Proyecto Bulubulu-Cañar, cubriendo así en su mayor parte la extensión de dicho proyecto.
- El empleo de sistemas de información geográfica para el manejo de los modelos digitales de terreno y elevaciones de la lámina de agua es básico en la delimitación de las planicies de inundación, no solo para mediciones, sino también para obtener mapas temáticos que muestran las zonas más vulnerables a riesgos por inundación.
- La utilización de la extensión HEC-GeoRAS representa una herramienta de considerable valor, puesto que permite la automatización del proceso de extracción de datos geométricos para ser exportados al HEC-RAS agilizando la realización de los cálculos hidráulicos, y de esta forma evitar errores en la introducción de datos hidráulicos y parámetros preliminares.
- Las bondades que proporciona el uso del Software Hidráulico y los Sistemas de Información Geográfica, además de cuantificar y visualizar los efectos producidos por la variación de régimen hidrológico en un área determinada se convierten en una guía para la toma de decisiones, con la finalidad de aprovechar los recursos hídricos en beneficio de la comunidad y comprender los peligros que pueden ocasionar en el caso de un fenómeno natural.
- Es importante la calibración correcta del modelo para así obtener una mejor aproximación a la realidad.

Las conclusiones para los diferentes ríos se harán de acuerdo a los gráficos presentados en las secciones anteriores.

- Para el río Patúl se demuestra que presenta un comportamiento supercrítico, puesto que el 93% tiene un Froude mayor a 1.
- El río Piedras presenta un comportamiento subcrítico, puesto que el 95% el flujo tiene un número de Froude menor a 1. Por esta razón las condiciones

de flujo hacia aguas arriba de la descarga del río Piedras se ve afectada por las condiciones de flujo del río Cañar.

- El río Bulubulu presenta los 2 tipos de flujo casi por igual puesto que presentan un 58% de flujo supercrítico y un 42% de flujo subcrítico debido a su cambio de pendiente
- El río Bulubulu presenta un cause trenzado en la parte baja del tramo, producido tal vez por la pendiente alta aguas arriba que posee, haciendo que el río pierda su capacidad del transporte de sedimentos y el fondo flujo se redefine constantemente buscando nuevos cauces.
- Las velocidad más alta se presenta en el río Patúl con 7.93 m/s.
- Las áreas afectadas para los ríos Patúl Piedras Bulubulu y Cañar son 69.188 Ha, 1.037 Ha, 380.755Ha y 4920 Ha respectivamente, es necesario recordar que estas áreas no son áreas efectivas por falta de topografía para determinar su real extensión.
- Se pudo obtener una topografía total con la que se pudo determinar un área total de inundaciones enmarcada en el área de proyecto Bulubulu – Cañar de 58957 Ha, que se puede considerar como más probable..
- Para el río Norkay, no fue factible obtener un modelo representativo del terreno y en consecuencia no se realizó el cálculo hidráulico respectivo.

En fin, los beneficios de utilizar herramientas computacionales para la resolución de problemas de ingeniería son muchos, pero el mayor de los beneficios, es el hecho de aprender nuevas técnicas, adquiriendo conocimientos y ganando experiencia para aplicarlas al desarrollo de la comunidad.

CAPITULO 7. RECOMENDACIONES








- Se debería tener cuidado al modelar en HEC-RAS en flujo no permanente ya que el software trabaja con la teoría tradicional de flujo en canales abiertos (conservación de la energía). En ciertas ocasiones se puede dar el caso de que el modelo hidráulico propuesto esté muy alejado de las condiciones con las que se formuló dicha teoría, reafirmando el uso del Modelo Físico.
- Es recomendable generar el TIN solamente con las curvas de nivel, puesto que si se realizan juntamente curvas y puntos, se crea una doble información alterando el resultado deseado.
- Recomendaciones en diferentes zonas de los ríos para mejorar la topografía, en la zona del
- Para complementar el proyecto es necesario realizar un estudio de sedimentos, para conocer el efecto del aporte de los sedimentos en la inundación.
- Construir obras hidráulicas en lugares identificados como desbordes en el presenta estudio.
- Realizar planes o gestiones de riberas que identifique y alerte a la población sobre las áreas inundables.

- Es factible que para los trabajos de campo (levantamiento topográfico), se tenga conocimientos generales expuestos en esta investigación, con el fin de disminuir la información que es irrelevante y mejorar la calidad de la información y por ende sus resultados.

Es importante recomendar que las hipótesis planteadas en los análisis y conclusiones del proyecto sean futuros temas de investigación para así comprobar la veracidad de lo antes mencionado.

CAPITULO 8. ANEXOS, MAPAS Y PLANOS

Tabla 8.1 Características de la sección de un canal

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superficial T	Profundidad hidráulica D	Factor de sección Z
 Rectángulo	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$by^{1.48}$
 Trapezoid	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{[(b + zy)y]^{1.48}}{\sqrt{1 + 2zy}}$
 Triángulo	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{zy}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}zy^{2.48}$
 Círculo	$\frac{\pi}{4}(d - \sin \theta)d^2$	$\frac{\pi}{2}d\theta$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)d$	$\frac{(\sin \theta)d}{2\sqrt{1 - \sin \theta}}$	$\frac{1}{4}\left(\frac{d - \sin \theta}{\sin \theta}\right)d$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(d - \sin \theta)^{1.48}}{(\sin \theta)^{1.48}}d^{2.48}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$2 + \frac{8}{3}\frac{y}{T}$	$\frac{2Ty}{3T^2 + 8y}$	$\frac{2}{3}\frac{A}{y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{3}\sqrt{\frac{A}{y}}T^{2.48}$
 Rectángulo con esquinas redondeadas ($y > r$)	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y]^{1.48}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{8} - \frac{r^2}{8}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{A}{P}$	$2[y(z - r) + r\sqrt{1 + z^2}]$	$\frac{A}{y}$	$A\sqrt{\frac{A}{P}}$

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

Tabla 8.2: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Fuente: (Das, 2001)

Resultados tabulares del modelo.

8.1 RIO PATUL

Además de las opciones gráficas, es posible visualizar los resultados de forma tabular.

Tabla 8.3: Resultados tabulares del modelo río Patúl.

	SECCION CON FLUJO CRITICO
	SECCION CON F. SUBCRITICO
	SECCION CON F SUPERCRITICO
	SECCIONES CON # FR<1
	SECCIONES CON # FR>1

River Stat	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Froude # Chl
5700	194.88	197.65	197.65	198.25	0.0084	3.44	160.00	1.00
5600	190.89	192.98	193.83	196.18	0.0634	7.93	69.32	2.64

5500.*	187.54	189.88	190.46	191.64	0.0288	5.87	93.68	1.82
5400.*	184.19	186.41	187.05	188.38	0.0365	6.22	88.37	2.02
5300.*	180.85	183.05	183.57	184.76	0.0344	5.79	95.00	1.94
5200	177.50	179.63	180.09	181.16	0.0367	5.48	100.28	1.96
5100	174.65	176.71	177.18	178.28	0.0232	5.55	99.07	1.66
5000	171.54	173.37	173.90	175.20	0.0418	5.99	91.87	2.10
4900	168.52	170.26	170.67	171.58	0.0292	5.09	107.96	1.77
4800	165.32	166.94	167.58	168.73	0.0268	5.96	95.09	1.78
4700	162.48	164.23	164.70	165.69	0.0324	5.35	103.28	1.86
4600	160.03	161.57	161.91	162.65	0.0265	4.60	119.53	1.66
4500	155.68	158.09	158.66	159.80	0.0292	5.81	94.68	1.82
4400	153.16	154.72	155.37	156.64	0.0340	6.13	89.73	1.96
4300	151.24	152.88	153.10	153.56	0.0221	3.64	150.99	1.46
4200	148.18	150.00	150.31	150.98	0.0296	4.38	125.62	1.71
4100	145.47	147.32	147.65	148.48	0.0211	4.84	121.85	1.55
4000	142.88	143.95	144.26	145.40	0.0477	5.35	102.89	2.15
3900	139.42	141.75	141.76	142.69	0.0160	4.28	128.43	1.35
3800	137.25	138.68	139.21	140.29	0.0373	5.61	98.10	1.99
3700	133.50	136.15	136.61	137.59	0.0198	5.30	103.68	1.62
3600	133.39	135.14	135.27	135.78	0.0127	3.56	154.62	1.24
3500	130.28	132.26	132.75	133.86	0.0287	5.71	104.17	1.90
3400	128.48	130.56	130.90	131.68	0.0152	4.91	139.48	1.44
3300	126.56	129.04	129.04	129.61	0.0061	3.62	193.31	0.95
3200	124.33	126.45	126.92	128.29	0.0332	6.00	91.73	2.03
3100	121.77	124.21	124.66	125.69	0.0193	5.83	125.24	1.65
3000	120.28	122.67	122.96	123.70	0.0178	4.65	128.16	1.51
2900	118.17	120.37	120.78	121.76	0.0203	5.38	115.84	1.64
2800	116.82	118.47	118.86	119.78	0.0190	5.35	122.11	1.60
2700	114.22	115.61	116.07	117.18	0.0368	5.56	98.99	2.07
2600	112.48	113.84	114.06	114.71	0.0153	4.12	133.76	1.38
2500	110.79	112.07	112.30	113.10	0.0204	4.49	122.41	1.58
2400	109.05	110.39	110.58	111.17	0.0170	4.28	153.96	1.45
2300	107.36	108.88	109.10	109.70	0.0126	4.40	160.94	1.31
2200	105.73	106.83	107.11	107.82	0.0304	4.77	130.25	1.86
2100	103.67	105.35	105.46	105.97	0.0112	3.67	170.21	1.20
2000	101.80	103.55	103.86	104.55	0.0174	4.59	134.93	1.49
1900	100.30	102.04	102.26	102.88	0.0152	4.32	152.54	1.40
1800	98.44	100.00	100.29	101.00	0.0235	4.95	142.66	1.70
1700	96.88	98.43	98.60	99.21	0.0132	3.90	140.92	1.29
1600	95.46	96.89	97.14	97.82	0.0142	4.27	128.68	1.43
1500	93.67	95.01	95.34	96.11	0.0206	4.70	125.48	1.69

1400	92.40	93.76	93.92	94.47	0.0118	3.82	154.10	1.30
1300	91.07	92.52	92.71	93.26	0.0123	3.82	144.84	1.32
1200	89.66	90.90	91.14	91.75	0.0188	4.08	134.81	1.57
1100	88.07	90.63	90.03	90.81	0.0013	1.88	318.02	0.47
1093	87.90	90.20	90.20	90.75	0.0062	3.37	181.59	0.99
1083	87.76	89.94	90.10	90.66	0.0092	3.84	162.82	1.19
1000	86.81	88.63	88.89	89.50	0.0228	4.13	133.06	1.70
900	85.75	87.60	87.70	88.21	0.0075	3.79	194.67	1.10
800	84.90	85.97	86.26	86.96	0.0226	4.60	132.98	1.74
700	83.33	85.17	85.20	85.71	0.0074	3.60	198.42	1.08
600	82.17	83.71	83.97	84.61	0.0165	4.62	152.61	1.55
500	80.73	82.51	82.65	83.20	0.0112	3.68	149.65	1.27
400	79.80	81.42	81.57	82.12	0.0104	3.82	162.91	1.24
300	78.86	80.32	80.46	80.99	0.0122	4.05	176.93	1.34
200	77.01	79.06	79.25	79.80	0.0114	4.25	183.25	1.32
100	76.69	78.56	78.56	79.04	0.0063	3.15	198.94	0.98

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

8.2 RIO PIEDRAS

Tabla 8.4: Resultados tabulares del modelo río Piedras.

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Froude # Chl
3500	116.30	34.91	37.96		38.09	0.0015	1.57	74.21	0.38
3400	116.27	34.74	37.69		37.89	0.0025	1.99	58.29	0.48
3300	116.24	34.61	36.90	36.86	37.55	0.0110	3.57	32.52	0.97
3200	116.22	33.97	35.99		36.45	0.0084	3.03	38.36	0.84
3100	116.17	33.07	35.69		35.86	0.0022	1.84	63.24	0.47
3000	116.13	32.49	34.96		35.48	0.0073	3.20	36.32	0.84
2900	116.07	31.76	34.72		34.93	0.0023	2.07	56.20	0.49
2800	115.99	31.37	34.49		34.71	0.0022	2.09	55.61	0.48
2700	115.86	31.56	34.52		34.55	0.0003	0.80	145.47	0.17
2600	115.71	30.67	34.40		34.50	0.0008	1.36	84.78	0.30
2500	115.60	30.84	34.14		34.35	0.0023	2.00	57.76	0.48
2400	115.52	30.80	33.57		33.98	0.0054	2.86	40.40	0.73
2300	115.45	30.21	33.38		33.59	0.0023	1.99	58.11	0.48
2200	115.38	30.49	32.73		33.19	0.0069	3.00	38.43	0.86
2100	115.09	29.76	32.51		32.67	0.0019	1.76	65.28	0.46
2000	114.80	29.57	31.83		32.31	0.0069	3.05	37.63	0.86
1900	114.73	28.88	31.50		31.76	0.0030	2.25	50.97	0.58
1800	114.57	28.82	31.32		31.46	0.0029	1.67	68.62	0.53
1700	114.36	28.25	31.03		31.21	0.0021	1.93	59.40	0.49
1600	114.18	27.84	30.84		31.01	0.0022	1.81	62.93	0.49
1500	114.03	27.64	30.59		30.80	0.0020	2.04	55.78	0.49
1400	113.92	27.49	30.43		30.61	0.0019	1.86	61.12	0.47
1300	113.82	27.65	29.68	29.80	30.31	0.0131	3.50	32.53	1.13
1200	113.72	26.97	28.67		29.08	0.0072	2.82	40.27	0.86
1100	113.61	26.00	28.38		28.55	0.0022	1.83	62.15	0.49
1000	113.46	26.13	28.22		28.36	0.0016	1.63	69.44	0.45
900	113.25	25.94	27.89		28.08	0.0040	1.91	59.30	0.66
800	113.01	25.68	27.51		27.69	0.0039	1.93	58.68	0.65
700	112.79	25.04	27.34		27.45	0.0012	1.48	75.99	0.40
600	112.65	24.74	26.83		27.18	0.0047	2.63	42.76	0.75
500	112.55	24.73	26.45		26.74	0.0042	2.37	47.53	0.70
400	112.46	24.29	26.23		26.40	0.0024	1.87	60.09	0.54
300	112.28	24.12	26.20		26.23	0.0005	0.78	143.63	0.25
200	112.05	23.77	26.16		26.19	0.0003	0.75	148.94	0.21
100	111.93	23.62	24.64	25.03	25.89	0.0302	4.95	22.60	1.87

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

8.3 RIO CAÑAR

Los resultados tabulares del Río Cañar son necesarios para visualizar la variación del régimen de flujo en la longitud del tramo Puerto Inca – Descarga

Tabla 8.5: Resultados tabulares del modelo río Cañar

	SECCION CON FLUJO CRITICO
	SECCION CON F. SUBCRITICO
	SECCION CON F SUPERCRITICO
	SECCIONES CON # FR<1
	SECCIONES CON # FR>1

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
20800	13.1	18.45		18.67	0.000428	2.26	410.03	133.12	0.34

20700	13.12	18.37		18.6	0.000457	2.27	405.6	154.93	0.34
20600	13.1	18.43		18.54	0.000193	1.58	636.79	210	0.23
20500	12.81	18.39		18.49	0.000222	1.66	673.89	210	0.24
20400	12.61	18.38		18.47	0.000212	1.7	726.9	209.37	0.24
20300	12.86	18.37		18.47	0.000197	1.66	717.72	210	0.23
20200	12.67	18.34		18.43	0.000189	1.61	704.25	210	0.23
20100	12.79	18.33		18.41	0.000166	1.53	718.62	210	0.21
20000	12.23	18.31		18.41	0.000167	1.55	709.82	210	0.22
19900	12.53	18.31		18.38	0.000125	1.33	786.19	210	0.19
19800	12.62	18.3		18.36	0.000106	1.24	788.97	210	0.17
19700	12.51	18.29		18.36	0.000117	1.32	748.6	210	0.18
19600	12.29	18.25		18.35	0.000146	1.46	560.4	151.89	0.2
19500	12.04	18.25		18.34	0.00017	1.56	719.25	210	0.22
19400	11.95	18.18		18.35	0.000253	2.01	506.31	134.92	0.27
19300	11.97	18.22		18.3	0.000146	1.5	780.21	210	0.2
19200	12.08	18.21		18.28	0.000116	1.36	842.06	210	0.18
19100	12.02	18.2		18.27	0.000111	1.35	847.48	210	0.18
19000	11.75	18.18		18.26	0.000132	1.43	767.38	210	0.19
18900	11.37	18.16		18.25	0.000133	1.46	756.34	210	0.19
18800	11.58	18.16		18.23	0.00011	1.29	819.37	210	0.18
18700	11.49	18.15		18.21	0.000107	1.27	840.85	210	0.17
18690.*	11.49	18.12		18.22	0.000163	1.57	584.8	209.85	0.21
18680.*	11.49	18.08		18.23	0.000205	1.76	472.24	209.71	0.24
18670.*	11.5	18.05		18.22	0.00024	1.9	390.72	209.56	0.26
18660.*	11.5	18.03	14.59	18.22	0.000241	1.94	369.39	209.42	0.26
18650									
18640.*	11.5	16.4		16.79	0.000767	2.79	254.07	69.69	0.44
18630.*	11.5	16.39		16.79	0.000783	2.81	251.94	69.36	0.45
18620.*	11.51	16.38		16.78	0.0008	2.83	250.12	69.24	0.45
18610.*	11.51	16.37		16.77	0.000803	2.82	257.39	139.29	0.45
18600.*	11.51	16.37		16.77	0.000793	2.82	263.42	139.07	0.45
18590.*	11.51	16.37		16.76	0.000771	2.8	272.28	138.89	0.44
18580.*	11.51	16.37		16.75	0.000752	2.78	280.88	138.71	0.44
18570.*	11.52	16.37		16.75	0.00074	2.77	286.39	138.49	0.44
18560.*	11.52	16.37		16.74	0.000722	2.75	294.59	138.31	0.43
18550.*	11.52	16.37		16.73	0.000709	2.74	300.97	138.11	0.43
18540.*	11.52	16.37		16.73	0.000701	2.74	304.45	137.88	0.43
18530.*	11.52	16.37		16.72	0.000679	2.71	314.98	137.73	0.42
18520.*	11.53	16.38		16.71	0.000655	2.68	326.55	137.6	0.41
18510.*	11.53	16.38		16.7	0.000639	2.66	334.3	137.42	0.41
18500	11.53	16.38		16.7	0.000611	2.62	350.04	137.34	0.4

18400	11.76	16.41		16.62	0.000401	2.07	396	155.9	0.32
18300	11.54	16.24		16.58	0.000621	2.58	273.74	74.87	0.4
18200	11.21	15.93		16.5	0.001221	3.37	215.89	75.16	0.55
18100	11.35	16.15		16.32	0.000374	2.04	511.08	210	0.31
18000	11.37	16.09		16.31	0.000456	2.25	419.65	140.09	0.34
17900	11.28	15.74		16.29	0.001237	3.35	235.75	102.73	0.55
17800	11	15.95		16.08	0.000305	1.87	583.71	210	0.28
17700	10.84	15.84		16.01	0.000431	2.14	531.67	210	0.33
17600	10.9	15.8		16.02	0.000426	2.23	416.39	139	0.34
17500	10.75	15.79		15.97	0.000332	1.96	461.17	157.71	0.3
17400	10.67	15.64		15.94	0.000634	2.54	336.84	135.92	0.4
17300	10.87	15.63		15.87	0.000501	2.28	377.66	142.48	0.36
17200	10.63	15.68		15.81	0.000285	1.82	569.63	210	0.27
17100	10.73	15.65		15.78	0.000254	1.73	589.96	210	0.26
17000	10.42	15.64		15.75	0.000241	1.69	610.49	210	0.25
16900	10.86	15.47		15.76	0.000572	2.49	366.32	160.47	0.39
16800	10.4	15.47		15.7	0.000518	2.39	467.75	210	0.37
16700	10.7	15.13		15.76	0.001325	3.52	201.11	72.93	0.57
16600	10.4	15.3		15.53	0.000472	2.27	438.14	202.07	0.35
16500	10.34	15.3		15.47	0.000335	1.91	497.78	210	0.3
16400	10.25	15.23		15.44	0.000434	2.02	332.97	86.48	0.33
16300	10.28	14.99		15.37	0.000862	2.73	246.54	69.97	0.46
16200	10.16	15.12		15.27	0.000291	1.81	533.82	210	0.28
16100	10.1	15.07		15.24	0.000337	1.92	455.39	190.44	0.3
16000	10.1	15.05		15.21	0.00036	1.91	496.94	209.32	0.3
15900	9.99	14.96		15.18	0.000487	2.26	427.84	188.12	0.35
15800	9.69	14.82		15.15	0.000642	2.68	332.61	134.75	0.41
15700	9.88	14.61		15.12	0.001073	3.35	286.49	136.84	0.52
15600	9.75	14.64		14.98	0.000661	2.71	332.87	141.42	0.41
15500	9.73	14.67		14.9	0.000447	2.25	422.25	173.8	0.34
15400	9.68	14.67		14.85	0.000365	2.07	498.09	210	0.31
15300	9.61	14.39		14.86	0.001057	3.18	278.6	131.11	0.51
15200	9.46	14.26		14.76	0.001007	3.25	268.71	123.07	0.51
15100	8.99	14.43		14.73	0.000582	2.6	357.51	144.71	0.39
15000	9.5	14.37		14.57	0.000397	2.16	482.46	210	0.32
14900	9.62	14.38		14.51	0.000286	1.77	550.04	210	0.27
14800	9.5	14.31		14.49	0.000368	2.01	453.45	174.18	0.31
14700	9.5	14.12		14.47	0.000787	2.77	314.98	128.25	0.44
14600	8.96	14.16		14.38	0.000449	2.24	399.5	154.53	0.34
14500	9.5	14.14		14.33	0.000381	2	418.36	146.93	0.31
14400	9.21	13.98		14.31	0.000726	2.64	324.58	136.5	0.43

14300	9.01	13.65		14.27	0.001397	3.68	244.14	113.67	0.59
14200	9.26	13.59		14.11	0.001054	3.22	223.1	73.56	0.52
14100	9.07	13.59		14	0.000841	2.86	251.53	88.85	0.46
14000	9.19	13.62		13.95	0.000635	2.55	290.46	102.88	0.4
13900	8.63	13.56		13.88	0.000617	2.54	305.63	118.5	0.4
13800	8.93	13.6		13.8	0.000411	2.06	400.54	143.3	0.33
13700	9.02	13.61		13.76	0.000294	1.77	451.02	152.02	0.28
13600	8.91	13.59		13.73	0.000283	1.77	497.13	183.44	0.27
13500	8.69	13.52		13.7	0.000321	1.86	383.87	108.34	0.29
13400	8.44	13.35		13.68	0.000697	2.62	324.02	133.15	0.42
13300	8.35	13.13		13.61	0.000916	3.14	244.19	85.66	0.49
13200	8.37	13.28		13.5	0.000513	2.33	413.2	138.01	0.36
13100	8.48	13.06		13.45	0.000744	2.78	257.92	85.73	0.44
13000	8.42	13.19		13.38	0.000401	2.13	442.09	147.47	0.32
12900	8.15	13.04		13.33	0.000618	2.48	333.45	144.85	0.4
12800	7.77	13.02		13.31	0.000562	2.44	324.44	113.61	0.38
12700	7.98	12.95		13.21	0.000511	2.31	324.61	106.39	0.36
12600	7.89	12.81		13.16	0.000663	2.61	263.55	70.78	0.41
12500	7.76	12.69		13.11	0.000878	3.06	300.3	130.84	0.47
12400	7.93	12.7		13.01	0.000608	2.58	349.01	136.5	0.4
12300	8.16	12.72		12.93	0.000408	2.06	382.53	154.13	0.32
12200	7.94	12.56		12.88	0.000622	2.55	267.55	73.91	0.4
12100	7.41	12.34		12.81	0.00094	3.07	232.2	76.89	0.49
12000	7.75	12.52		12.68	0.000362	2	504.36	210	0.31
11900	7.77	12.38		12.72	0.000623	2.59	284.87	92.82	0.4
11800	7.38	12.2		12.61	0.000814	2.89	274.37	107.83	0.46
11700	7.5	12.35		12.48	0.000315	1.87	562.39	210	0.29
11600	7.14	12.31		12.45	0.000338	1.94	567.72	210	0.3
11500	7.4	12.21		12.43	0.000429	2.21	405	138.82	0.34
11400	7.25	12.21		12.38	0.000334	1.94	448.22	155.97	0.3
11300	6.67	12.14		12.35	0.00038	2.13	406.61	137.92	0.32
11200	7.17	12.11		12.31	0.000405	2.11	402.91	143.13	0.32
11100	6.93	12.15		12.26	0.00023	1.67	605.55	210	0.25
11000	7.03	12.13		12.24	0.000205	1.59	627.09	210	0.23
10900	7.22	12.04		12.22	0.000394	2.03	427.74	161.34	0.32
10800	7.36	11.91		12.2	0.000573	2.46	357.04	159.95	0.38
10700	6.9	11.91		12.14	0.000525	2.39	454.82	210	0.37
10600	7.2	11.58		12.19	0.001323	3.49	197.16	72.01	0.57
10500	6.9	11.74		11.97	0.000479	2.27	426.01	202.07	0.35
10400	6.84	11.74		11.93	0.00037	1.99	412.54	145.81	0.31
10300	6.75	11.65		11.86	0.000438	2.02	326.4	85.95	0.33

10200	6.78	11.42		11.8	0.000867	2.72	242.31	69.41	0.46
10100	6.66	11.56		11.7	0.000294	1.81	520.18	210	0.28
10000	6.6	11.5		11.68	0.00034	1.91	443.2	186.95	0.3
9900	6.6	11.48		11.64	0.000368	1.91	482.77	209.06	0.31
9800	6.49	11.39		11.62	0.0005	2.26	414.66	187.85	0.36
9700	6.59	11.09		11.6	0.001132	3.21	249	132.41	0.53
9600	6.38	10.96		11.51	0.001203	3.46	265.68	135.68	0.55
9500	6.25	11		11.36	0.000724	2.77	312.41	140.63	0.43
9400	6.23	11.03		11.27	0.000489	2.3	397.35	172.91	0.36
9300	6.18	11.02		11.21	0.000403	2.12	467.17	210	0.32
9200	6.11	10.7		11.23	0.001229	3.32	254.25	130.76	0.55
9100	5.96	10.55		11.11	0.001182	3.4	243.47	118.88	0.55
9000	5.49	10.61		10.98	0.000752	2.82	311.49	142.66	0.44
8900	6	10.65		10.88	0.000472	2.28	437.14	210	0.35
8800	6.12	10.66		10.82	0.000337	1.86	505.29	210	0.29
8700	5.99	10.58		10.79	0.000432	2.11	416.57	173.39	0.33
8600	5.79	10.47		10.76	0.00075	2.61	357.97	139.74	0.43
8500	5.7	10.47		10.67	0.000493	2.23	467.23	210	0.35
8400	5.85	10.48		10.61	0.000254	1.63	516.72	190.84	0.26
8300	5.62	10.4		10.58	0.000418	1.96	406.51	146.3	0.32
8200	5.43	9.81		10.84	0.002438	4.55	156.4	66.21	0.77
8100	5.35	10.07		10.26	0.000483	2.19	482.06	210	0.35
8000	5.31	9.96		10.3	0.000793	2.81	355.62	177.48	0.45
7900	5.41	9.87		10.16	0.000707	2.58	376.65	193.46	0.42
7800	5.44	9.8		10.08	0.000657	2.5	376.41	186.31	0.41
7700	5.3	9.74		10.02	0.000682	2.59	384.47	186.48	0.42
7600	5.25	9.64		9.96	0.000769	2.71	360.74	177.19	0.44
7500	5.24	9.58		9.87	0.000703	2.54	344.99	160.19	0.42
7400	5.03	9.5		9.8	0.000693	2.55	336.86	158.15	0.42
7300	5.2	9.47		9.73	0.000594	2.37	364.34	163.71	0.39
7200	5.21	9.45		9.66	0.000478	2.14	385.27	162.14	0.35
7100	5	9.37		9.63	0.000611	2.41	386.8	185.54	0.39
7000	4.92	9.32		9.57	0.000615	2.45	420.98	210	0.39
6900	4.96	9.31		9.49	0.000434	2.08	472.66	210	0.33
6800	4.54	9.23		9.45	0.0005	2.17	395.34	147.05	0.35
6700	4.71	9.25		9.39	0.000345	1.85	541.03	210	0.3
6600	4.71	9.03		9.4	0.000774	2.77	312.1	165.09	0.44
6500	4.52	8.91		9.31	0.000924	2.9	281.98	152.77	0.48
6400	4.5	8.85		9.23	0.000872	2.89	311.1	138.09	0.47
6300	4.16	8.91		9.11	0.000483	2.22	470.34	210	0.35
6200	4.3	8.88		9.06	0.000372	2.01	473.17	210	0.31

6100	4.13	8.77		9.04	0.000594	2.48	372.71	148.04	0.39
6000	4.16	8.63		8.98	0.000801	2.74	311.02	152.97	0.45
5900	4.19	8.67		8.88	0.000502	2.21	445.9	210	0.36
5800	4.3	8.65		8.83	0.000423	2.03	474.29	210	0.33
5700	4.13	8.63		8.78	0.000348	1.87	522.49	210	0.3
5600	4.01	8.6		8.74	0.000354	1.84	525.69	210	0.3
5500	4	8.55		8.71	0.000389	1.97	498.41	202.13	0.32
5400	3.87	8.53		8.67	0.000326	1.87	531.02	210	0.29
5300	3.82	8.51		8.63	0.000326	1.76	544.98	210	0.29
5200	3.83	8.45		8.59	0.000328	1.72	414.93	155.18	0.29
5100	3.63	8.19		8.56	0.000855	2.67	247.91	96.6	0.46
5000	3.8	8.33		8.46	0.000322	1.75	496.57	210	0.28
4900	3.74	8.26		8.44	0.00043	2.02	424.03	155.57	0.33
4800	3.62	7.81		8.45	0.001438	3.56	196.64	85.79	0.59
4700	3.1	8.04		8.27	0.000494	2.2	366.7	139.18	0.35
4600	3.45	7.84		8.24	0.000984	2.96	290.68	131.34	0.49
4500	3.51	7.97		8.09	0.00031	1.8	570.35	210	0.28
4400	3.39	7.75		8.1	0.000776	2.74	316.27	149.87	0.44
4300	3.3	7.82		7.99	0.000467	2.17	515.01	210	0.34
4200	3.3	7.8		7.94	0.00041	2.05	554.58	210	0.32
4100	3.28	7.59		7.94	0.000821	2.81	311.59	126.66	0.45
4000	3.12	7.67		7.82	0.000392	2	525.07	210	0.32
3900	3.1	7.64		7.78	0.000368	1.94	531.25	210	0.31
3800	2.87	7.62		7.74	0.000337	1.81	570.5	210	0.29
3699.999	2.93	7.56		7.72	0.000445	2.09	523.3	210	0.34
3600	3	7.52		7.66	0.000315	1.8	505.13	190.58	0.28
3500	2.94	7.53		7.63	0.000203	1.47	605.01	210	0.23
3400	2.87	7.46		7.61	0.000382	1.98	463.51	143.66	0.31
3300	2.61	7.01		7.63	0.001348	3.5	190.74	56.84	0.58
3200	2.8	7.25		7.43	0.000423	2.1	492.84	210	0.33
3100	2.53	7.18		7.39	0.000473	2.16	398.65	146.29	0.35
3000	2.42	6.87		7.34	0.001093	3.04	220.68	69.44	0.52
2900	2.56	7		7.22	0.000545	2.32	439.06	210	0.37
2800	2.42	6.98		7.16	0.00047	2.21	498.21	210	0.35
2700	2.45	6.94		7.11	0.00042	2.03	502.31	210	0.33
2600	2.48	6.87		7.07	0.000529	2.24	452.3	210	0.37
2500	2.28	6.82		7.02	0.000488	2.22	462.24	210	0.35
2400	2.09	6.79		6.97	0.000392	2.09	497.54	210	0.32
2300	2.13	6.74		6.94	0.000455	2.25	476.35	210	0.35
2200	2.11	6.71		6.88	0.000398	2.03	478.25	194.56	0.32
2099.999	1.95	6.68		6.84	0.000425	1.99	501.12	210	0.33

1999.999	2.1	6.6		6.81	0.000585	2.37	462.38	210	0.38
1899.999	1.96	6.5		6.77	0.000718	2.69	430.15	210	0.43
1800	1.93	6.43		6.7	0.000705	2.65	430.88	210	0.42
1700	1.94	6.33		6.63	0.000789	2.78	395.56	186.72	0.45
1599.999	1.81	6.31		6.53	0.000623	2.45	453.09	210	0.4
1499.999	1.74	6.26		6.47	0.000553	2.3	457.61	210	0.37
1400	1.8	6.11		6.43	0.000768	2.7	337.02	148.8	0.44
1300	1.8	6.03		6.35	0.00075	2.68	337.97	147.05	0.43
1199.999	1.85	6.01		6.27	0.000685	2.55	413.32	210	0.42
1099.999	1.79	5.95		6.2	0.000676	2.53	425.21	210	0.41
999.9999	1.68	5.87		6.14	0.000741	2.66	420.63	206.33	0.43
899.9999	1.52	5.76		6.08	0.000942	2.94	403.36	210	0.49
800	1.57	5.67		5.98	0.000884	2.88	404.94	210	0.47
699.9998	1.43	5.55		5.9	0.000987	3.01	376.98	203.48	0.49
599.9999	1.5	5.41		5.79	0.000986	2.91	304.54	148.08	0.49
499.9999	1.4	5.42		5.68	0.000738	2.5	396.61	210	0.42
399.9999	1.4	5.36		5.61	0.000735	2.51	425.99	210	0.43
300	1.32	5.24		5.54	0.000914	2.74	386.29	210	0.47
200	0.88	5.16		5.45	0.000853	2.62	387.58	210	0.45
100	1.35	5.07	4.42	5.36	0.001001	2.76	386.99	210	0.49

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

8.4 RIO BULUBULU

Los resultados del Rio Bulubulu son necesarios para visualizar la variación del régimen de flujo en la longitud del tramo.

Tabla 8.6: Resultados tabulares del Modelo RIO BULUBULU

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
14100	197.3	199.05	199.05	199.52	0.006391	3.02	38.28	1
14000	196.42	197.63	197.87	198.41	0.02194	3.92	29.53	1.7
13900	194.5	195.88	196.09	196.61	0.01482	3.77	30.65	1.45
13800	191.3	192.77	193.52	194.56	0.026341	5.92	19.52	2.01
13700	190.25	191.3	191.58	192.22	0.016846	4.25	27.22	1.57
13600	187.53	189	189.4	190.31	0.021056	5.07	22.83	1.78
13500	186	186.96	187.29	187.94	0.024449	4.39	26.35	1.82
13400	183.44	185.07	185.32	185.86	0.017052	3.96	29.22	1.55
13300	181.7	182.72	183.03	183.72	0.027269	4.42	26.16	1.9
13200	179.2	180.57	180.86	181.46	0.018528	4.19	27.6	1.62
13100	176.3	178.17	178.59	179.39	0.022551	4.9	23.62	1.79
13000	172.3	173.94	174.41	176.14	0.047344	6.57	17.61	2.57
12900	169.8	171.35	171.82	172.8	0.022011	5.33	21.69	1.8
12799.64	167.9	169.33	169.68	170.43	0.023195	4.64	24.92	1.79

12712.96	166.3	167.5	167.82	168.47	0.021101	4.37	26.46	1.71
12611.95	164	165.72	166	166.71	0.014619	4.41	26.2	1.5
12500	161.4	162.53	163.11	164.24	0.034473	5.79	19.98	2.22
12400	157.25	158.51	159.03	160.4	0.042577	6.09	18.99	2.43
12300	153.3	156.2	156.82	157.92	0.015752	5.81	19.9	1.57
12204.12	151.2	153.6	154.63	156.16	0.019286	7.1	16.29	1.7
12100	150.2	152.58	152.97	153.71	0.019547	4.7	24.58	1.64
12000.85	149.4	151.94	151.95	152.45	0.007137	3.15	36.67	1.02
11900	147.7	150.61	150.94	151.62	0.008449	4.95	29.06	1.09
11800	146.47	148.77	149.27	150.23	0.01926	5.34	21.64	1.67
11700	146.7	148.68	148.68	149.03	0.00729	2.59	44.66	1.01
11600	145.6	147.01	147.2	147.65	0.032857	3.54	32.68	1.93
11500	145.1	146.78	146.78	147.04	0.007647	2.28	50.72	1
11400	142.2	143.36	143.81	145.15	0.07131	5.93	19.49	2.94
11300	140	141.87	141.94	142.22	0.012642	2.61	44.3	1.25
11200	138.3	139.44	139.77	140.47	0.0232	4.5	25.71	1.79
11100	136.7	138.31	138.39	138.71	0.011378	2.82	40.95	1.23
10996.44	134.8	136.55	136.79	137.31	0.015548	3.86	29.94	1.49
10900	132.7	134.61	134.95	135.58	0.020436	4.36	26.5	1.67
10801.59	131.73	132.77	132.92	133.21	0.024773	2.94	39.27	1.66
10713.48	130.9	132.05	132.05	132.28	0.008428	2.11	54.87	1.02
10607.86	127.9	128.82	129.3	130.36	0.049326	5.5	21.01	2.51
10506.56	127.13	128.28	128.28	128.52	0.008162	2.16	53.42	1.01
10401.11	126.3	127.21	127.26	127.44	0.013233	2.1	55.01	1.2
10300	124.81	125.24	125.36	125.59	0.026247	2.64	43.86	1.65
10200	122.6	123.45	123.54	123.76	0.013325	2.47	46.82	1.26
10100	121.4	122.42	122.54	122.76	0.007782	2.59	44.57	1.04
10000	120.9	121.61	121.63	121.79	0.011145	1.86	62.22	1.1
9900.006	118.53	119.42	119.74	120.21	0.021939	3.94	29.37	1.7
9800.006	117.7	118.69	118.69	118.8	0.010828	1.49	77.4	1.03
9700.006	116.3	117.27	117.31	117.46	0.016875	1.93	60.05	1.29
9600.006	114.6	115.57	115.65	115.87	0.014883	2.42	47.7	1.3
9498.399	113.6	114.37	114.39	114.56	0.010713	1.95	59.41	1.09
9300.006	110.7	111.34	111.47	111.68	0.020579	2.58	44.89	1.5
9200.006	109.4	110.22	110.22	110.38	0.009073	1.77	65.46	1
9100.006	108	108.76	108.82	108.97	0.024492	2.06	56.22	1.51
9000.006	106.33	107.65	107.65	107.77	0.010961	1.59	72.57	1.05
8900.005	105.1	106.29	106.36	106.53	0.015861	2.16	53.55	1.3
8800.006	104.12	104.72	104.78	104.98	0.015244	2.23	51.82	1.29
8700.005	102.6	103.58	103.59	103.75	0.00959	1.83	63.2	1.03
8500.644	100.1	101.33	101.39	101.63	0.01176	2.41	47.88	1.19
8421.296	99.4	100.87	100.83	101.03	0.006882	1.77	65.36	0.9
8296.314	99.13	99.87	99.87	100	0.009841	1.58	73.09	1.01
8205.377	97.85	98.41	98.49	98.68	0.022065	2.31	50.11	1.5
8100.006	96.76	97.49	97.49	97.63	0.009642	1.62	71.32	1
8000.006	95.9	96.83	96.76	96.93	0.004999	1.4	82.79	0.76

7900.006	95.2	96.11	96.11	96.27	0.008991	1.76	65.81	1
7800.006	93.5	94.54	94.68	94.96	0.019461	2.87	40.31	1.51
7700.006	92.8	93.87	93.87	94.03	0.009116	1.79	64.72	1.01
7600.006	92.3	93.36	93.06	93.4	0.001055	0.88	132.02	0.38
7500.006	92.22	92.93	92.93	93.16	0.00832	2.09	55.3	1.01
7400.006	90.43	91.7	91.77	91.99	0.017248	2.37	48.79	1.37
7300.006	89.53	90.8	90.6	90.86	0.001819	1.02	113.55	0.48
7200.006	89.07	90.21	90.21	90.51	0.00746	2.42	47.7	1.01
7100.006	87.59	88.79	88.93	89.27	0.023861	3.05	37.96	1.65
7000.006	86.8	88.31	88.22	88.44	0.004273	1.57	73.85	0.73
6900.006	86.3	87.62	87.62	87.83	0.009114	2.04	56.63	1.04
6800.005	86	87	86.89	87.12	0.003977	1.52	75.95	0.71
6700.006	85.8	86.43	86.42	86.57	0.008031	1.66	69.8	0.94
6600.006	84.93	85.71	85.67	85.85	0.006591	1.62	71.27	0.87
6500.005	84.2	84.96	84.94	85.12	0.008021	1.78	65.07	0.96
6400.005	83.4	84.6	84.45	84.66	0.002674	1.13	102.65	0.57
6300.005	83.07	84.05	84.05	84.19	0.009852	1.65	70.14	1.02
6200.005	81.9	82.76	82.81	82.97	0.014945	2.06	56.15	1.26
6100.005	80.68	82.02	81.76	82.12	0.00258	1.34	86.57	0.58
6000.005	79.4	81.81		81.88	0.002027	1.19	96.88	0.52
5898.516	79.2	81.19	81.19	81.5	0.007463	2.49	46.41	1
5797.128	78.14	79.93	80.05	80.31	0.020852	2.73	42.33	1.52
5697.823	77.2	78.99	78.99	79.16	0.009902	1.84	62.98	1.05
5595.458	76.6	78.42	78.13	78.47	0.00207	0.95	121.6	0.49
5498.494	76.9	78.2	78.07	78.24	0.00271	0.92	125.32	0.54
5400.071	75.7	77.66	77.66	77.77	0.010364	1.45	79.76	1
5301.473	75.5	76.92	76.84	77.02	0.004922	1.39	82.91	0.75
5200.868	74.8	76.32	76.29	76.42	0.007358	1.38	83.87	0.87
5000.004	74	75.38		75.45	0.003352	1.21	95.6	0.63
4898.126	73.4	74.83	74.79	74.98	0.006732	1.67	69.25	0.88
4799.666	73.1	74.3	74.19	74.41	0.004754	1.49	77.49	0.75
4699.764	72.7	73.58	73.58	73.78	0.008686	1.98	58.43	1.02
4600.004	71.96	73.12	72.97	73.22	0.002879	1.36	85.02	0.61
4500.004	71.48	72.77	72.71	72.85	0.004808	1.21	95.81	0.72
4400.004	71.1	72.09	71.99	72.34	0.005113	2.19	52.85	0.85
4300.004	70.52	71.49	71.49	71.7	0.008578	2.01	57.63	1.01
4205.108	69.8	70.91	70.81	71.02	0.004655	1.49	77.84	0.75
4100.495	69.3	70.14	70.14	70.37	0.008308	2.12	54.62	1.01
3991.653	68.5	69.36	69.27	69.53	0.004962	1.83	63.02	0.81
3900.405	67.77	69.08		69.16	0.002992	1.25	92.66	0.61
3800.004	66.9	68.46	68.46	68.67	0.008686	2	57.89	1.02
3700.005	66.5	68.14	67.84	68.19	0.001214	0.94	123.3	0.4
3600.005	66.2	67.57	67.57	67.91	0.007292	2.59	44.67	1.01
3500.005	65.9	67.17	66.98	67.34	0.002931	1.81	63.78	0.66
3400.005	65.6	66.82	66.68	66.99	0.004088	1.85	62.57	0.75
3300.005	65.2	66.28		66.55	0.004635	2.31	50.07	0.83

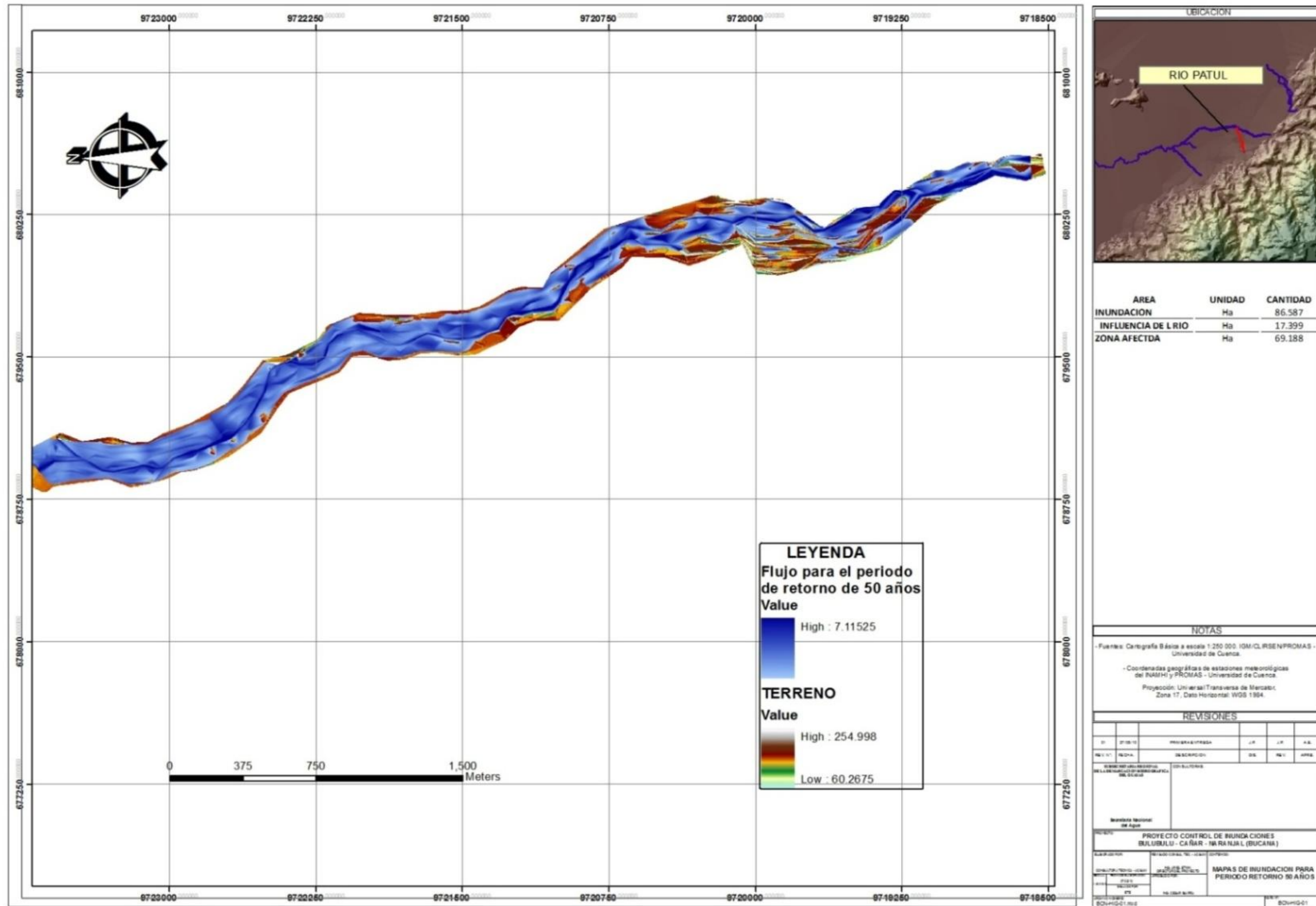
3200.005	64.3	65.93		66.12	0.003551	1.88	61.38	0.72
3100.005	64	65.67		65.78	0.002821	1.46	79.29	0.62
3000.005	63.7	65.11	65.09	65.34	0.007042	2.15	53.86	0.96
2900.005	63.3	64.7		64.82	0.00358	1.58	73.34	0.69
2800.006	62.97	64.43		64.53	0.002376	1.36	85.18	0.57
2700.006	62.7	64.2		64.3	0.002221	1.38	83.84	0.56
2600.006	62.5	63.96		64.06	0.002444	1.41	81.72	0.58
2500.006	62.2	63.67		63.81	0.002422	1.67	69.12	0.6
2400.006	62	63.15	63.15	63.39	0.008398	2.18	53.15	1.03
2300.005	61.6	62.65	62.45	62.77	0.002433	1.49	77.37	0.59
2200.005	60.8	62.24		62.43	0.004552	1.96	59.03	0.79
2100.005	60.6	62.15		62.21	0.00095	1.07	107.89	0.38
2000.005	60.5	61.83	61.8	62	0.006651	1.82	63.61	0.9
1900.005	60.27	61.17	61.14	61.34	0.006564	1.82	63.58	0.89
1800.005	59.6	60.74	60.58	60.87	0.003442	1.56	74.33	0.67
1700.005	59.1	60.09	60.09	60.36	0.007812	2.29	50.56	1.01
1600.005	58.7	59.91	59.66	59.97	0.001482	1.1	104.98	0.45
1500.005	58.1	59.38	59.38	59.66	0.007633	2.36	48.89	1.01
1400.005	57.7	59.31	58.97	59.36	0.001075	1.04	111.11	0.39
1300.005	57.09	58.86	58.8	59.13	0.005714	2.33	49.61	0.9
1200.004	57.1	58.46		58.6	0.004352	1.66	69.8	0.75
1100.005	56.4	58.23		58.31	0.001826	1.29	89.53	0.51
1000.005	56.3	57.87	57.76	58.04	0.004113	1.81	64.01	0.75
900.0043	56.3	57.57		57.68	0.00296	1.46	79.39	0.63
800.0042	55.9	57.38		57.45	0.001619	1.22	94.63	0.48
700.0041	55.4	57.15		57.27	0.001889	1.54	75.09	0.54
600.0039	55.1	56.57	56.57	56.92	0.006942	2.65	43.64	1
500.0036	54.6	56.27	56.08	56.38	0.002622	1.48	78.29	0.6
400.0034	54.2	55.97		56.08	0.003495	1.45	79.79	0.67
300.0035	53.7	55.33	55.33	55.53	0.009303	1.96	58.85	1.04
200.0035	53.23	54.61	54.53	54.75	0.004952	1.7	68.06	0.79
99.96252	52.9	54.23	54.12	54.33	0.003401	1.37	84.67	0.65

Fuente: (PROMAS U. de Cuenca, 2010)

RESULTADOS GRAFICOS

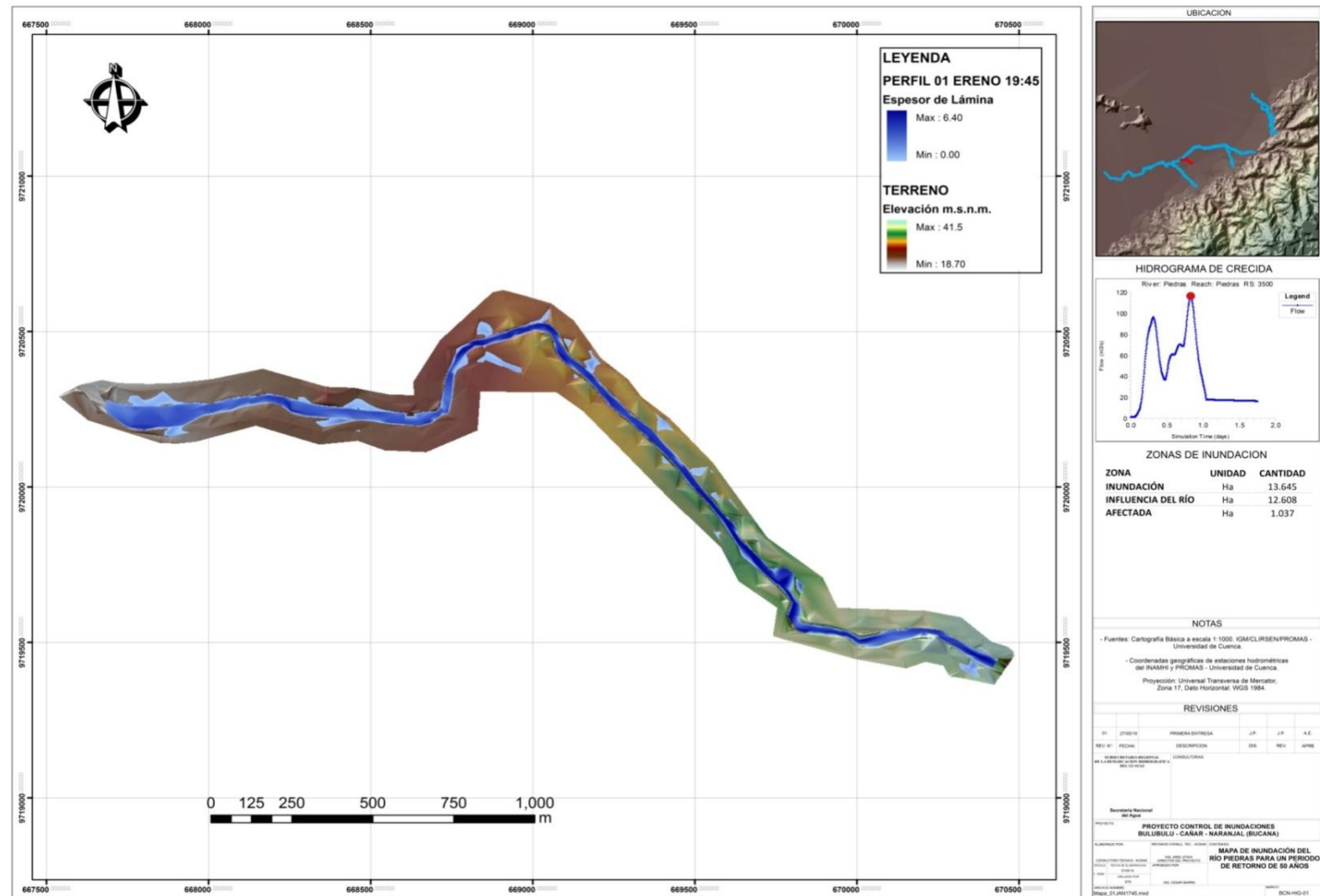
8.5 RIO PATUL

Figura 8.1: MAPA DE INUNDACIONES RIO PATUL



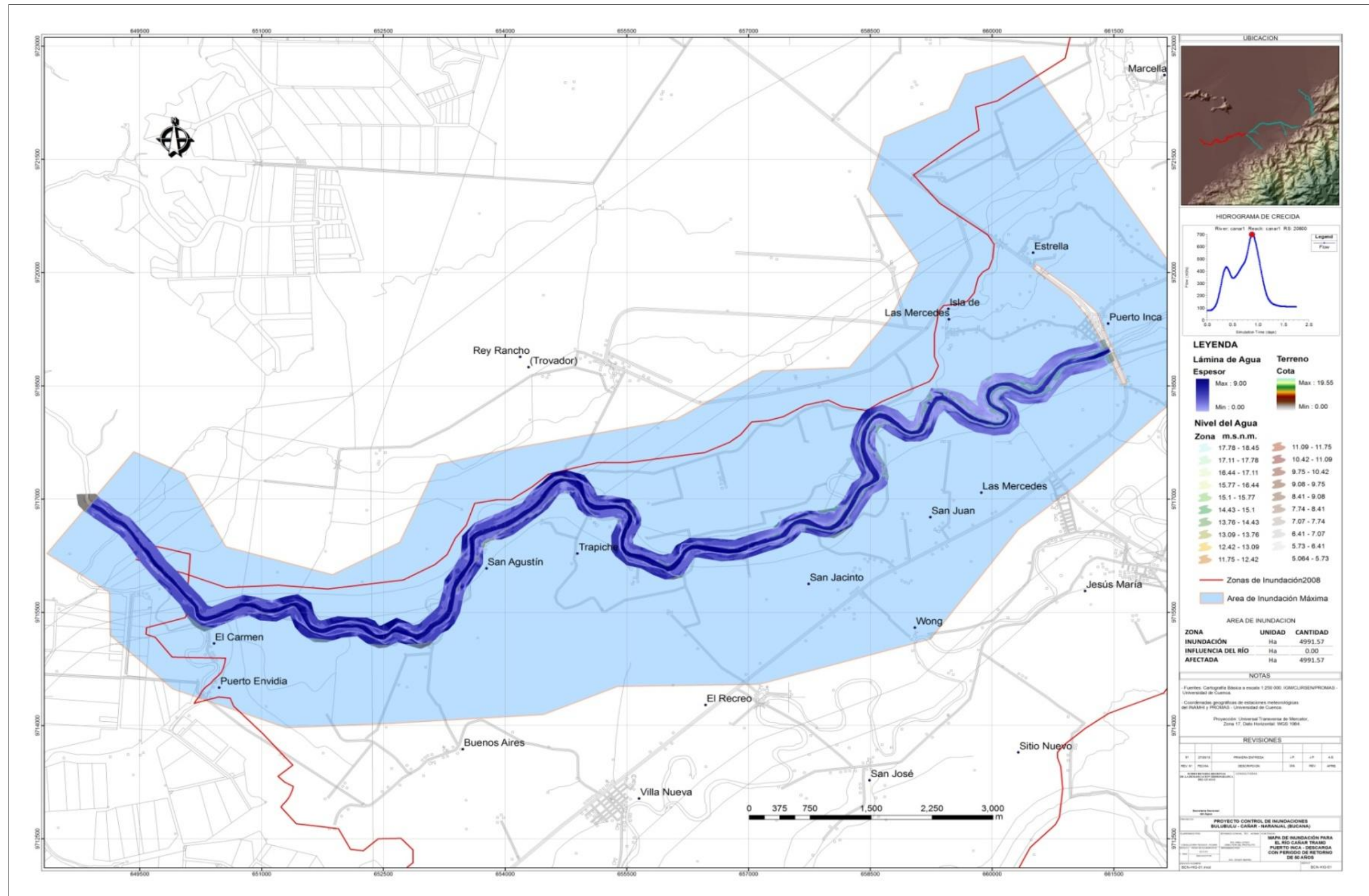
8.6 RIO PIEDRAS

Figura 8.2: MAPA DE INUNDACIONES RIO PIEDRAS



8.7 RIO CAÑAR

Figura 8.3: MAPA DE INUNDACIONES DEL RIO CAÑAR



8.8 RIO BULUBULU

Figura 8.4: MAPA DE INUNDACIONES DEL RIO BULUBULU

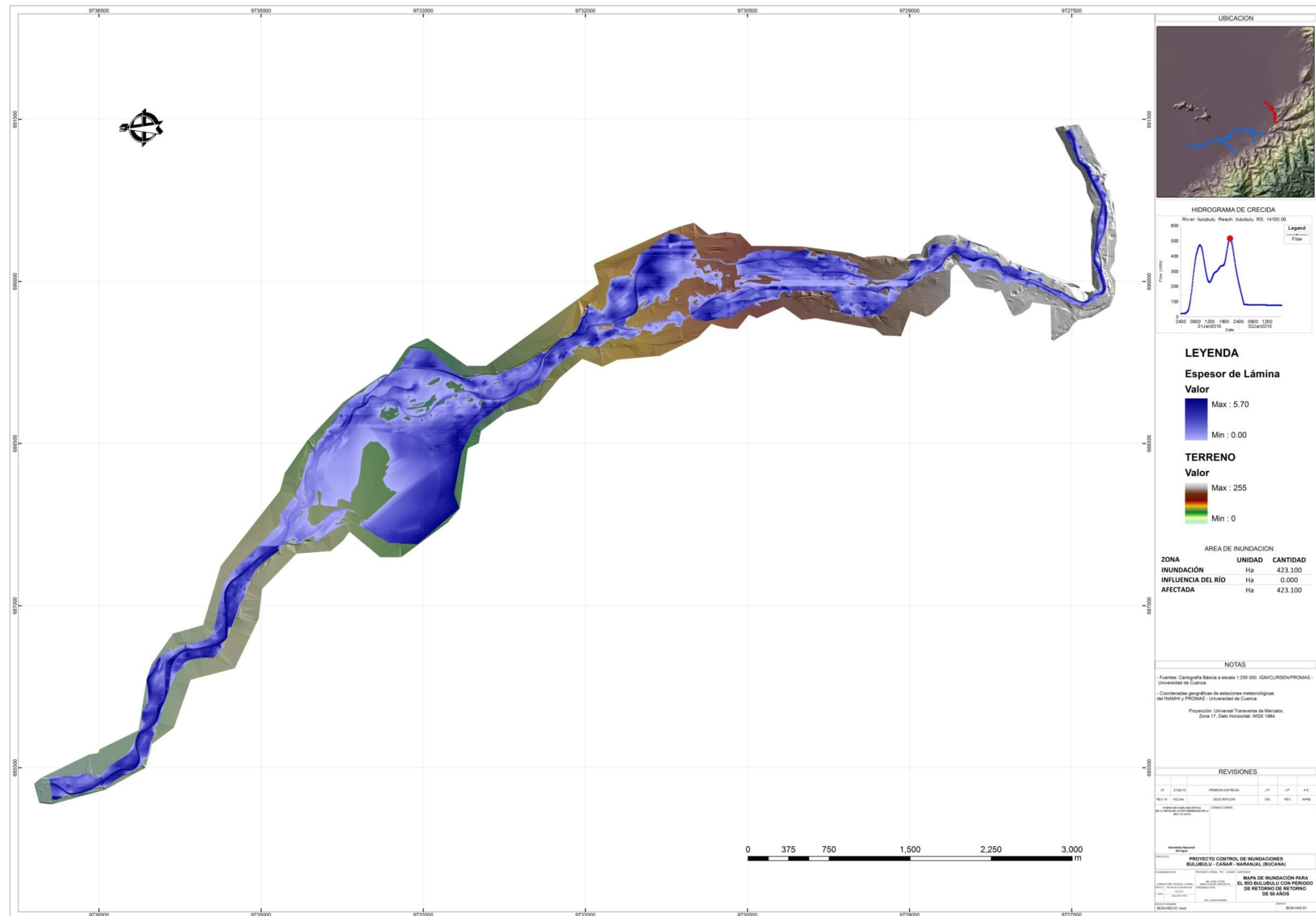


Figura 8.5: MAPA DE INUNDACIONES TOTAL

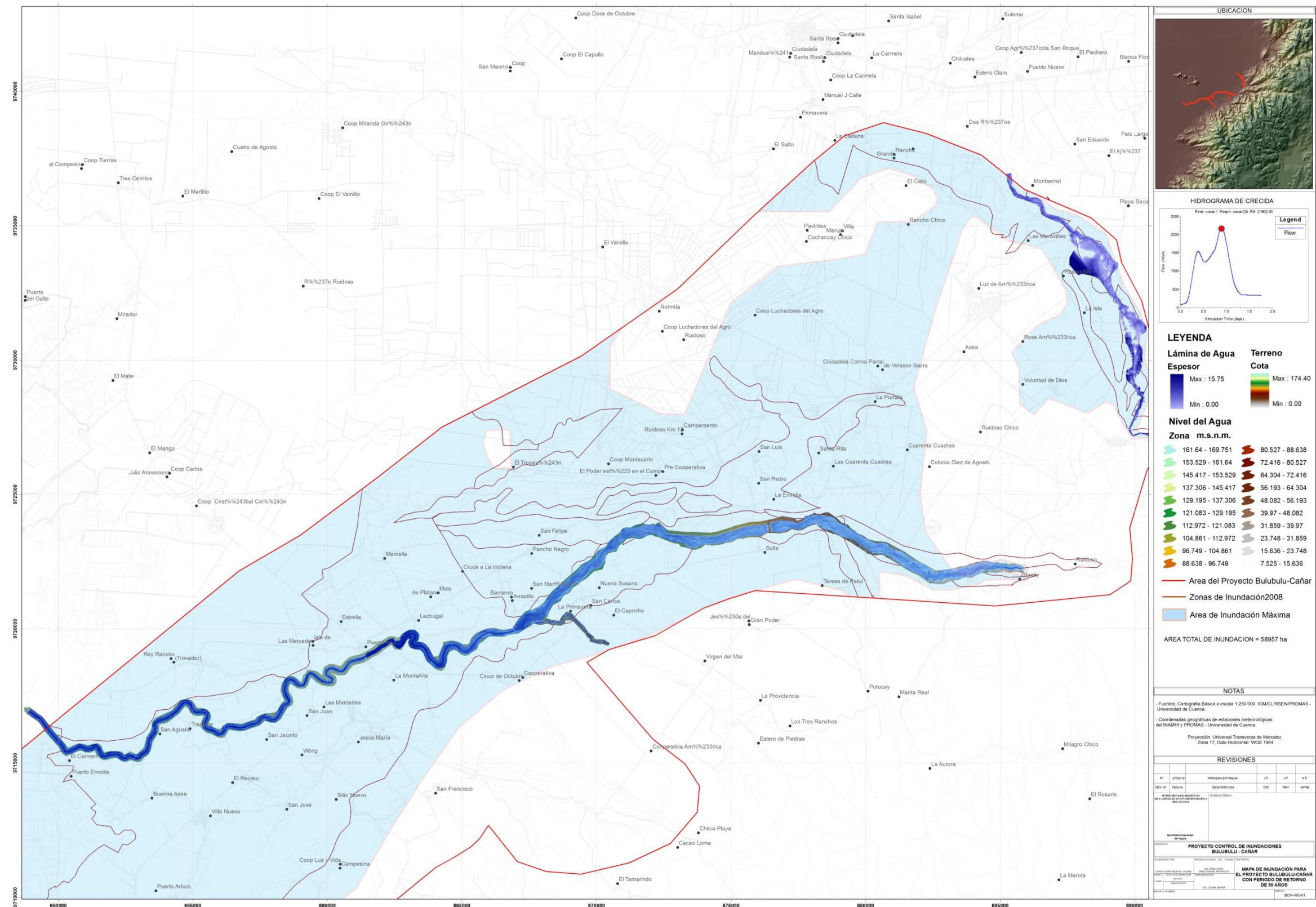


Figura 8.6: MAPA DE INUNDACIONES

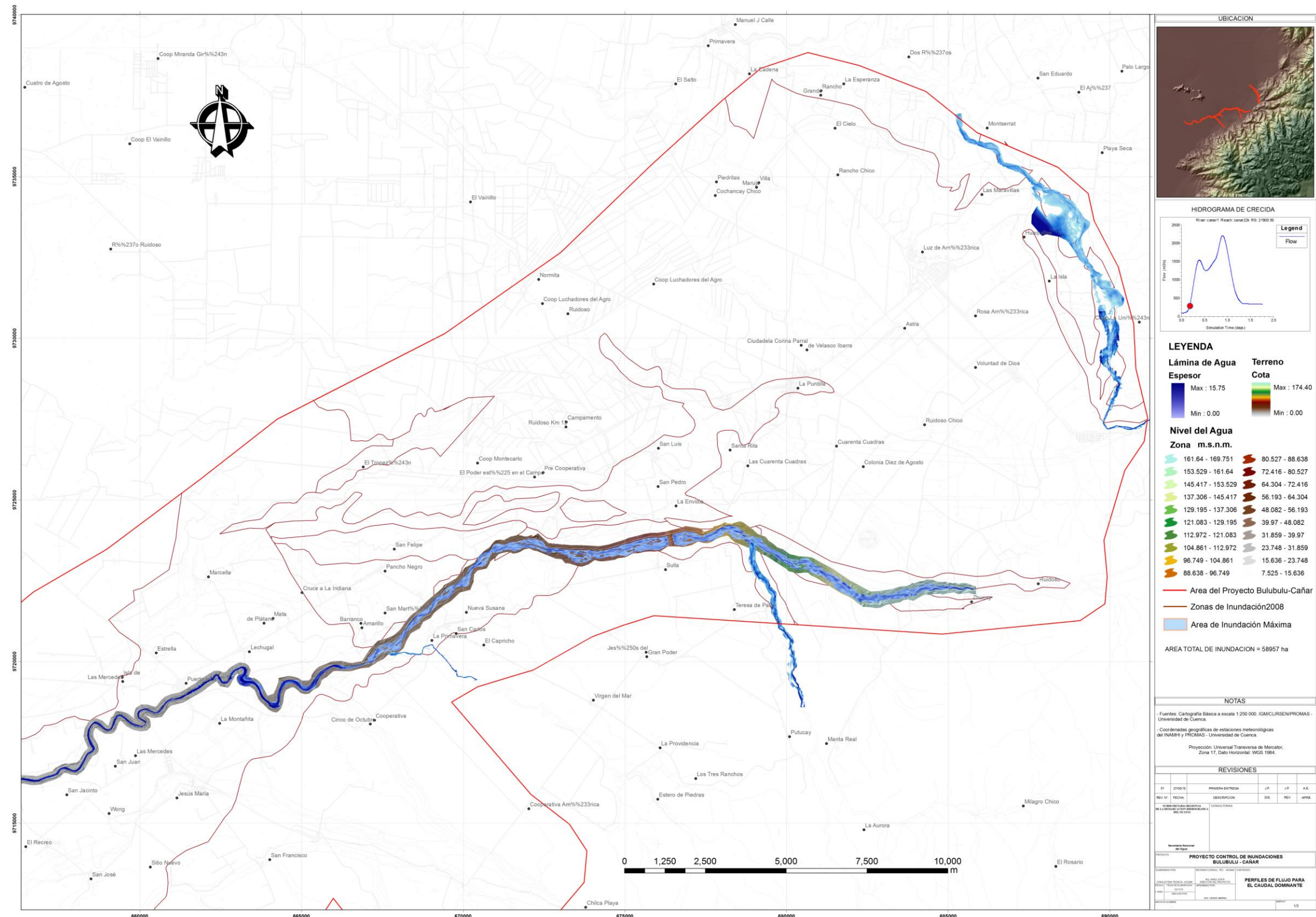
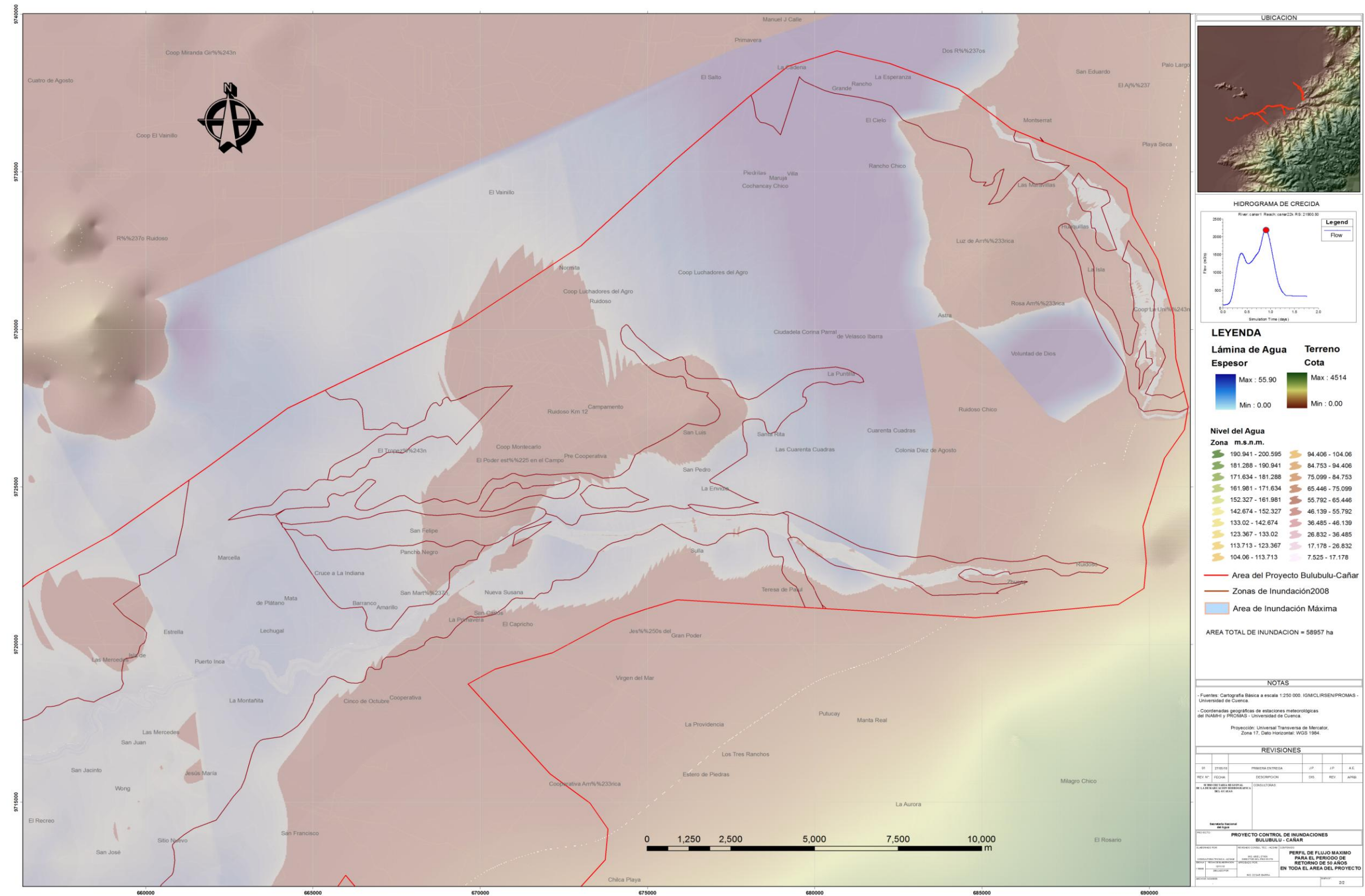


Figura 8.7: MAPA DE CRECIDA



INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Clasificación de los cauces.	39
Tabla 2.2: Abertura de Tamices	43
Tabla 2.3: Escala de Wenworth.....	44
Tabla 2.4 Coeficiente de Manning y Formas de Fondo.....	54
Tabla 2.5: Valores de n_b para canales de arena y canales estables	54
Tabla 2.6: Valores de ajuste para Factores que afectan la Rugosidad de un Canal.	58
Tabla 2.7: Características de las estaciones Hidrométrica.....	62
Tabla 2.8: Valores Generales en la zona del proyecto.....	63
Tabla 2.9: Caudales máximos instantáneos en los puntos de interés	64
Tabla 2.10: Usos del suelo	65
Tabla 4.1 Unidades del modelo HEC-RAS.....	102
Tabla 4.2: Curva de Descarga para río Bulubulu	104
Tabla 4.3: Curva de Descarga río Cañar, sector Pto. Inca.	105
Tabla 4.4: Caudales 50 años de retorno y condiciones de análisis.....	106
Tabla 4.5: Pendiente de la Línea de Energía aguas abajo.....	106
Tabla 4.6: Tabla de diámetros Característicos para el río Piedras.....	107
Tabla 4.7: Diámetros Característicos.	108
Tabla 4.8: Valores del Coeficiente de Manning.	108
Tabla 5.1: Área de inundación para el río Patúl	141
Tabla 5.2: Área de inundación para el río Piedras	141
Tabla 5.3: Área de inundación para el río Cañar.....	142
Tabla 5.4: Área de inundación para el río Bulubulu.....	142
Tabla 5.5: Comprobación de n de manning	142
Tabla 8.1 Características de la sección de un canal	146
Tabla 8.2: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.....	146
Tabla 8.3: Resultados tabulares del modelo río Patúl.	147
Tabla 8.4: Resultados tabulares del modelo río Piedras.	149
Tabla 8.5: Resultados tabulares del modelo río Cañar	150
Tabla 8.6: Resultados tabulares del Modelo RIO BULUBULU	156

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ecuación de la energía.....	16
Figura 2.2: Curva de Energía Específica.....	18
Figura 2.3: Curva para el cálculo de la profundidad crítica.	19
Figura 2.4: Esfuerzo cortante y velocidades cerca del fondo de un canal en flujo turbulento	20
Figura 2.5: Deducción de la ecuación de flujo gradualmente variado.	21
Figura 2.6: Perfil de flujo tipo M1.....	23
Figura 2.7: Perfil de flujo tipo M2.....	24
Figura 2.8: Perfil de flujo tipo M3.....	24
Figura 2.9: Perfil de flujo tipo S1	25
Figura 2.10: Perfil de flujo tipo S2	25
Figura 2.11: Perfil de flujo tipo S3	26
Figura 2.12: Perfil de flujo tipo C1	26
Figura 2.13: Perfil de flujo tipo C2	27
Figura 2.14: Perfil de flujo tipo C3	27
Figura 2.15: Perfil de flujo tipo H2	28
Figura 2.16: Perfil de flujo tipo H3	28
Figura 2.17: Perfil de flujo tipo A2	29
Figura 2.18: Perfil de flujo tipo A3	29
Figura 2.19 Tramo de canal corto de longitud Δx . (VEN TE CHOW, 1994)	30
Figura 2.20: Hidrograma de Crecida.	33
Figura 2.21: Ejemplo de Hietograma e Hidrograma, (MARTIN VIDE, 2003).....	33
Figura 2.22 : Cauce recto visto en planta.....	34
Figura 2.23: Cauce recto del río Cañar	35
Figura 2.24: Cauce tranzado en zonas de pendiente fuerte.....	36
Figura 2.25: Cauce trenzado del río Bulubulu en zonas de alta pendiente.	36
Figura 2.26 : Cause Meándrico y Thalweg	37
Figura 2.27. Meandros del Río Cañar en Puerto Inca	37
Figura 2.28: Evolución del thalweg a lo largo del cauce.....	38
Figura 2.29 Sedimentación al final de torrente, donde la pendiente es baja “S2 ..	41
Figura 2.30: Perfil de un cauce colgado en un río aluvial. (MARTIN VIDE, 2003). 42	

Figura 2.31: Curva granulométrica del lecho del río Cañar	45
Figura 2.32: Acorazamiento	46
Figura 2.33 : Modos de arrastre, (ROCHA, 1998)	46
Figura 2.34 : Formas de fondo (fondo plano) (MARTIN VIDE, 2003)	48
Figura 2.35: Formas de fondo (arrugas o rizos), (MARTIN VIDE, 2003)	49
Figura 2.36: Formas de fondo (dunas)	49
Figura 2.37: Formas de fondo (antidunas)	49
Figura 2.38: Formas de fondo (rápidos)	50
Figura 2.39: Formas de fondo (rápidos y pozos)	50
Figura 2.40 : Erosión general y erosión local	51
Figura 2.41 Efectos de rugosidad y formas de fondo.	53
Figura 2.42: Forma de Fondo y Coeficiente de Rugosidad	54
Figura 2.43: Usos del Suelo	65
Figura 2.44 Ejemplo de una curva Velocidad vs. Altura	67
Figura 3.1: Añadir la barra de HEC GeoRAS al mapa	71
Figura 3.2: Mapas con su respectivo modelo de elevación TIN.	71
Figura 3.3: Ingreso de datos con en menú Add Data.	72
Figura 3.4 : Crear TIN a partir de los datos.	72
Figura 3.5 Establecer las condiciones para generar el TIN	73
Figura 3.6: Escala de colores por defecto con su mapa respectivo, Río Piedras..	73
Figura 3.7: Escala de colores elegida por usuario con su mapa, Río Piedras	74
Figura 3.8: Crear las Capas HEC RAS.	75
Figura 3.9: Crear Stream Centerline	76
Figura 3.10: Cuadro de dialogo para asignar el nombre del Río y su tramo de estudio.....	76
Figura 3.11: Uso de la herramienta Snapping.	77
Figura 3.12: Opciones de Edición.	77
Figura 3.13: Crear una sección transversal	79
Figura 3.14: Bancos del cauce	80
Figura 3.15: Cuadro de dialogo para la creación de un Flowpaths	81
Figura 3.16: Dialogo para colocar nombre del Flowpaths	81
Figura 3.17: Asignar un tipo de linea a cada flowpath.....	82
Figura 3.18: Crear Puente	82

Figura 3.19: Tabla de Atributos	83
Figura 3.20: Tabla de Atributos del Puente.	83
Figura 3.21: Áreas Inefectivas para el río Piedras.....	84
Figura 3.22: Crear Secciones para el valor del n de Manning.....	85
Figura 3.23: Ingreso de los valores de Manning.....	86
Figura 3.24: Edición de nombres para cada perfil con el menú Options Edit Profile Names.....	87
Figura 3.25: Condiciones de flujo Permanente.....	88
Figura 4.1 Modelo Digital del Terreno del Río Piedras.....	90
Figura 4.2 Generación del Modelo digital del Terreno por partes.....	90
Figura 4.3: Bordes superior e inferior previo al trazado en el HEC GeoRAS.	91
Figura 4.4: Aumento de la tolerancia Snapping.....	91
Figura 4.5: Limitación para el trazado por medio de Snapping.	92
Figura 4.6: Geometría del terreno	92
Figura 4.7: Ingreso de datos adicionales.....	93
Figura 4.8: Ingreso de las estaciones (abscisado)	93
Figura 4.9: Ubicación del Puente sobre el río Piedras, y sus áreas inefectivas. ...	94
Figura 4.10: Sección transversal del río Piedras en la abscisa 0+296	94
Figura 4.11: Ejemplos de secciones transversales a lo largo del río Piedras.....	95
Figura 4.12: Perfil del río Piedras.	95
Figura 4.13: Áreas de influencia para “n” de Manning.....	96
Figura 4.14: Exportación al HEC-RAS.	96
Figura 4.15: Río Piedras en HEC-RAS	97
Figura 4.16: Sección del cauce en el HEC-RAS del río Piedras.	97
Figura 4.17: Calibración del modelo en HEC-RAS.....	98
Figura 4.18: Sección del río Piedras con Flujo Supercrítico.	98
Figura 4.19: Sección del río Piedras con Flujo Supercrítico.....	98
Figura 4.20: Flujo Mixto, Flujo Permanente.....	99
Figura 4.21: Perspectiva del caudal con un periodo de retorno de 50 años, Flujo Permanente.....	100
Figura 4.22: Perspectiva del caudal con un periodo de retorno de 50 años, Flujo NO Permanente, correspondiente a 01JAN2000(19:45).....	100
Figura 4.23: Perfil Longitudinal del río Piedras. Flujo no permanente del 01JAN(19:45).	101

Figura 4.24: Zonas de riesgo y mapa de Inundación. Flujo Permanente	101
Figura 4.25: Zonas de riesgo y mapa de Inundación. Flujo no permanente del 01JAN2000 (19:45)	102
Figura 4.26: Hidrograma río Bulubulu.	104
Figura 4.27: Hidrograma del río Cañar en Puerto Inca.....	104
Figura 4.28: Hidrograma en la zona alta del río Patúl.	105
Figura 4.29: Hidrograma en la zona alta del río Piedras	105
Figura 4.30: Curva Granulométrica del río Piedras. (PROMAS, 2010)	107
Figura 5.1: Hidrograma río Patúl con su caudal máximo.....	112
Figura 5.2: Perfil de flujo máximo para el río Patúl.....	113
Figura 5.3: Velocidades a lo largo del río Patúl.....	113
Figura 5.4: Áreas de flujo a lo largo del río Patúl.....	113
Figura 5.5: Transversal río Patúl en la abscisa 2+100	114
Figura 5.6: Sección Transversal río Patúl en la abscisa 2+500.....	115
Figura 5.7: Secciones de control para el perfil máximo en el río Patúl.....	115
Figura 5.8: Sección Transversal río Patúl en la abscisa 5+600.....	115
Figura 5.9: Perfil de flujo río Patúl	116
Figura 5.10: Apreciación visual de los tipos de perfil.....	116
Figura 5.11: Número de Froude a lo largo del tramo del río Patúl.....	117
Figura 5.12: Flujo Crítico en la Abs. 4+607	118
Figura 5.13: Curvas de Gasto en la ABS: 4+607	118
Figura 5.14: Hidrograma río Piedras	119
Figura 5.15: Mapa de Inundación del río Piedras aguas abajo (Abs 3+200).....	119
Figura 5.16: Sección Transversal río Piedras en la Abs. 3+200.....	120
Figura 5.17: Mapa de Inundación en el centro del río Piedras (Abs 2+200).....	120
Figura 5.18: Sección Transversal río Piedras Abs. 2+200	120
Figura 5.19: Mapa de Inundación del río Piedras Aguas Arriba (Abs 0+200 y 0+800).....	121
Figura 5.20: Sección Transversal del río Piedras en la Abs 0+800	121
Figura 5.21: Velocidades a lo largo del río Piedras	121
Figura 5.22: Áreas de flujo a lo largo del río Piedras.....	122
Figura 5.23: Perfil de flujo en el río Piedras.....	122
Figura 5.24: Número de Froude a lo largo del río Piedras	123

Figura 5.25: Curva de Gasto en la Abs. 2+200.	123
Figura 5.26: Hidrograma en Puerto Inca	124
Figura 5.27: Menor Solicitación para un evento de 50 años	125
Figura 5.28: Mayor Solicitación para un Evento de 50 años de Retorno.....	125
Figura 5.29: Inicio de la transición de entrada del Puente Puerto Inca	126
Figura 5.30: Final de la transición de entrada en el Puente Puerto Inca	126
Figura 5.31: Velocidades de flujo en la sección de entrada del Puente Puerto Inca	127
Figura 5.32: Flujo cercano al Crítico en el Puente Puerto Inca	127
Figura 5.33: Velocidad de Flujo en el Puente Puerto Inca	128
Figura 5.34: Sección Transición del Puente en puerto Inca.	128
Figura 5.35: Perfil de Flujo en el Puente de Puerto Inca	129
Figura 5.36: Perfil M2 aguas arriba de la zona de control del Puente Puerto Inca.	129
Figura 5.37: Perfiles típicos que dependen de la pendiente de fondo del Tramo Puerto Inca	129
Figura 5.38: Curva de Descarga en el Puente Puerto Inca	130
Figura 5.39: Velocidades en la sección de la abscisa 17+000	130
Figura 5.40: Curva de Descarga en la sección de la abscisa 17+000.....	131
Figura 5.41: Velocidades en la sección de la abscisa 16+400	131
Figura 5.42: Curva de Descarga en la sección de la abscisa 16+400.....	131
Figura 5.43: Velocidades en la sección de la abscisa 15+500	132
Figura 5.44: Curva de descarga en la sección de la abscisa 15+500	132
Figura 5.45: Velocidades en la sección de la abscisa 9+200	132
Figura 5.46: Curva de descarga en la sección de la abscisa 9+200	133
Figura 5.47: Velocidades en la sección de la abscisa 8+700	133
Figura 5.48: Curva de descarga en la sección de la abscisa 8+700	133
Figura 5.49: Velocidades en la sección de la abscisa 8+200	134
Figura 5.50: Curva de descarga en la sección de la abscisa 8+200	134
Figura 5.51: Velocidad a lo largo del río Cañar	134
Figura 5.52: Áreas de flujo a lo largo del río cañar.....	135
Figura 5.53: Número de Froude a lo largo del tramo del río Cañar	135
Figura 5.54: Hidrograma Río Bulubulu	136
Figura 5.55: Área de flujo a lo largo del río Bulubulu.....	136

Figura 5.56: Sección transversal del río Bulubulu 12+100,	137
Figura 5.57: Distribución de velocidades en la Abs. 12+100.....	137
Figura 5.58: Cambio de pendiente en el río Bulubulu (Abs. 7+300)	137
Figura 5.59: Distribución de velocidades en la Abs. 7+300.....	138
Figura 5.60: Sección transversal con presencia de desbordamiento. (Abs. 1+ 400)	138
Figura 5.61: Perfil del flujo del río Bulubulu	138
Figura 5.62: Número de Froude a lo largo del río Bulubulu.....	139
Figura 5.63: Cambio de flujo en el río Bulubulu.....	139
Figura 5.64: Flujo Supercrítico presente aguas arriba.....	140
Figura 5.65: Flujo subcrítico presente aguas abajo.....	140
Figura 5.66: Curva de Gasto del Río Bulubulu en la Abs. 7+600	140
Figura 8.1: MAPA DE INUNDACIONES RIO PATUL.....	160
Figura 8.2: MAPA DE INUNDACIONES RIO PIEDRAS.....	161
Figura 8.3: MAPA DE INUNDACIONES DEL RIO CAÑAR	162
Figura 8.4: MAPA DE INUNDACIONES DEL RIO BULUBULU	163
Figura 8.5: MAPA DE INUNDACIONES TOTAL	164

BIBLIOGRAFIA

- Aldridge, B., & Garrett, J. (1973). *Roughness coefficients for stream channels in Arizona*. U.S. Geological Survey Open-File Report.
- Arcement Jr., G., & Schneider, V. (2009). *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. United States Geological Survey Water-supply (Paper 2339).
- Chanson, H. (2002). *Hidráulica de Flujo en Canales Abiertos*. Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá: Mc GRAW - HILL IINTERAMERICANA S.A.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: International Thomson.
- Martin Vide, J. P. (2003). *Ingeniería de Ríos*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor.
- PROMAS U. de Cuenca. (2010). *Estudios Hidrológicos, Climatológicos y Modelos Hidráulicos, en el Marco del Proyecto de Control de Inundaciones Bulubulu Canar*. Cuenca.
- Rocha Felices, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial*. Lima Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Streeter, V. L. (1970). *Mecánica de los Fluidos*. México: McGRAW-HILL.
- U. S. Army Corps of Engineers. (Septiembre de 2009). GIS Tools for Support of HEC RAS using ArcGIS. *User's manual*.
- U. S. Bureau of Reclamation, U. S. (1998). *Earth Manual*. Denver: United States Government Printing Office.
- U.S. Army Corps of Engineers. (Marzo de 2008). HEC RAS River Analysis System. *User's manual*. www.hec.usage.army.mil.
- Chow V. T., D. R. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: Mc GRAW-HILL.
- Weber. (2003). *Hidrología y procesos hidráulicos*.